

EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut



X MAGISTRANTIDE TEADUSKONVERENTS
INIMENE JA TEHNOLOOGIAD
PUBLIKATSIOONIDE KOGUMIK

Tartu 2016



X Magistrantide teaduskonverents & I
Rahvusvaheline Magistrantide
teaduskonverents
*The 10th Master students conference &
1st International Master students conference*

INIMENE JA TEHNOLOOGIAD
HUMAN AND ENGINEERING

Tehnikamajas

21. aprill 2016. a., Tartus, Fr. R. Kreutzwaldi 56

REGLEMENT

Ettekanded plenaaristungil kuni 12 minutit

Ettekanded septsiooniistungil kuni 10 minutit

TOIMKOND

Esimees: dotsent Oliver Sada

Liikmed: lektor Janar Kalder
doktorant Vahur Rooni
doktorant Märt Reinvee

PLENAARISTUNG

Neljapäeval, 21. aprillil 2016. a. kell 10.15

Fr. R. Kreutzwaldi 56, ruum A204

Juhataja: **dotsent Oliver Sada**

- | | |
|--|-----------|
| 1. The accuracy of a thermal storage device as a thermal energy meter
Andrus Reier <i>EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant</i> | 1 |
| 2. Comparative analysis of regularization filters for 3D printed structure's
topology optimization
Olga Petrova <i>University of Latvia, Faculty of Physics and
Mathematics / Rezekne Academy of Technologies, Faculty of Engineering</i> | 6 |
| 3. Micro meterage of surfaces in common rail diesel fuel supply apparatus
Keio Küüt <i>EMÜ Tootmistehnika eriala magistrant</i> | 10 |
| 4. Protection zones influence on water quality of the river Rezekne
Diana Svikle <i>Rezekne Technological Academy, Faculty of engineering</i> | 16 |
| 5. Electromyographic activity of skeletal muscles according to gender, chair
design and aspects of the specific tasks
Sigrít Ülper <i>EMÜ Ergonoomika eriala magistrant</i> | 23 |
| 6. The Importance of Colors Ergonomics for Workplaces Design
Kristine Uzulena <i>Rezekne Academy of Technologies, Faculty of
Education</i> | 29 |

SOOJUS- JA ELEKTRIENERGIA

Neljapäeval, 21. aprillil 2016. a. kell 13.00

Fr. R. Kreutzwaldi 56, ruum A218

Juhataja: **lektor Maido Märss**

1. Ahju suitsugaasis sisalduva hapniku mõõtmise autotööstuses kasutatava hapnikuanduriga **37**
Imre Hade *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
2. Infrapuna-vaakumkuivati mudel soojustehniliste protsesside uurimiseks **42**
Leo Laur *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
3. Kuumaveeboileri isolatsiooni soojusjuhtivusteguri leidmine ning termostaadi töörežiimide määramine **48**
Madis Vitsut *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
4. Basseinivee jääksoojuse energeetiline potentsiaal **53**
Marten Saareoks *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
5. Koostootmisjaama rakendamine energiasäästmise eesmärgil **57**
Mihkel Merimaa *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
6. Kirmsi alajaama võrgupiirkonna elektrivarustuse rekonstruktsioon. **62**
Veiko Vaht *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
7. Keskseade kodumajapidamise elektritarbimise juhtimiseks elektrihinna alusel **70**
Timo Pärle *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*

RAKENDUSTARKVARA JA MIKROKONTROLLERID

Neljapäeval, 21. aprillil 2016. a. kell 13.00

Fr. R. Kreutzwaldi 56, ruum A220

Juhataja: **lektor Janar Kalder**

1. Raspberry Pi computers in multicopters for geospatial data processing **76**
Janis Zalans *Rezekne Academy of Technologies, Faculty of Engineering*
2. Päikesepaneeli pööramise mudeli juhtimine **77**
Urmas Lüpsik *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
3. Patareitoitel sensorseadme arendus ja katsetus **82**
Alo Veenpere *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
4. Pneumosõiduki andmehõive süsteem **88**
Gert Truu *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
5. Elektroonilise koormuse analoogskeem **93**
Siim Sulamägi *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
6. Termopaaride keevitusseadme elektriline juhtimisskeem **97**
Andri Lember *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*
7. Kliimakambri soojusvahetusprotsesside analüüs programmi SciLab'i abil **101**
Janno Koger *EMÜ Energiakasutuse eriala magistrant*

FÜSIOLOOGILINE JA PSÜHHOLOOGILINE TÖÖKOORMATUS

Neljapäeval, 21. aprillil 2016. a. kell 13.00

Fr. R. Kreutzwaldi 56, ruum A219

Juhataja: **doktorant Märt Reinvee**

1. Ergonomic working environment risks and employee well-being. **106**
Ilze Kantāne *University of Latvia, Faculty of Chemistry*
2. Psychosocial risks at work and relationship with the work ability of the call center employees **111**
Sarmite Rutina-Rutenberga *University of Latvia, Faculty of Chemistry*
3. Suitability of school environment for children physical needs **117**
Velga Viluma Rezekne Academy of Technologies, Faculty of Education
4. Masinõmblejate luu-lihaskonna funktsionaalne seisund ja töövõime **123**
Kadi Hiir *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*
5. Masinõmblejate töö eripära ning luu-lihasvalude esinemissagedus **129**
Mona Männaste *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*
6. Elektromüograafiline analüüs töövahendi käivitamisel **136**
Sander Aia *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*

ERGONOOMIKA JA TÖÖKESKKOND

Neljapäeval, 21. aprillil 2016. a. kell 13.00

Fr. R. Kreutzwaldi 56, ruum A211

Juhataja: **doktorant Riin Raimla**

1. Mootorsõidukis kasutatava laste turvavarustuse koolituse vajalikkus Eestis **140**
Elen Pabo *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*
2. Tänavapuhastusmasina juhi töökeskkond **145**
Kristjan Kurrikoff *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*
3. Täppishaarde parameetrite mõõtmise metoodika **149**
Vahur Luik *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*
4. Korduvate viskeliigutuste mõju hindamine ülajäseme funktsionaalsele seisundile sportlikul treeningul **153**
Ergo Tamm *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*
5. Tootmistööliste töökeskkond ja tervislik seisund **157**
toiduainetetööstusettevõtte näitel
Kaidy Muhel *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*
6. Piimatööstusettevõtte töötaja töö raskusaste ja energeetiline koormatus **162**
Nele Šott *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*
7. Lüpsirobotiga lauda töökeskkonna riskianalüüs **167**
Grete Riistan *EMÜ Ergonoomika eriala magistrant*

TOOTMIS- JA KESKKONNATEHNIKA

Neljapäeval, 21. aprillil 2016. a. kell 13.00

Fr. R. Kreutzwaldi 56, ruum B136

Juhataja: **doktorant Vahur Rooni**

- | | |
|---|------------|
| 1. Protection zonessituation research near watercourses at east latgalian forestry | 173 |
| Jekaterina Krilova <i>Rezekne Technological Academy, Faculty of engineering</i> | |
| 2. Standardi ISO 6892-1:2010 järgse katse metoodika väljatöötamine Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi mõõtelaboris | 178 |
| Rain Drenkhan <i>EMÜ Tootmistehnika eriala magistrant</i> | |
| 3. Membraanfiltri kasutamine biogaasi käitlemisel | 183 |
| Mailis Polma <i>EMÜ Tootmistehnika eriala magistrant</i> | |
| 4. Mootorsõidukis mõjuva kiirendusemõõtmine elektroonilise mõõteahela abil | 188 |
| Priit Aare <i>EMÜ Tootmistehnika eriala magistrant</i> | |

Soojusakumulaatori täpsus energia arvestussüsteemis *The accuracy of a thermal storage device as a thermal energy meter*

A. Reier, K. Hovi, M. Hovi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. A traditional energy meter measures the flow amount of a liquid and the temperature going into and out from a system. Based on that, it can calculate the amount of energy consumed. An alternative could be a system, where three temperature sensors are placed on an accumulation tank and based on the parameters of the system, the amount of energy stored could be calculated. The tests were carried out in Estonian University of Life Sciences' boiler laboratory. To get an understanding of how accurate such a system could be, it was compared to fifteen sensors placed on the same accumulation tank. Based on the data gathered, a linear correlation was formed, to make the readings of the three sensors more in line with the readings from the fifteen sensors.

Key words: Energy meter, temperature sensor, accumulation tank, boiler.

SISSEJUHATUS

Küttesüsteemides on soojusenergia mõõtmiseks kasutusel soojusarvestid. Tegemist on seadmetega, mis mõõdavad soojust kandva vedeliku hulka ning vedeliku temperatuuri enne soojust tarbivasse süsteemi sisenemist ning pärast süsteemist väljumist. Seeläbi on seadmel võimalik arvutada läbivoolanud energiahulk.

2013. aastal Suurbritannia poolt tellitud uuringus selgus, et paljudel juhtudel ei ole soojusenergiaarvestid paigaldatud tootjapoolseid juhiseid järgides. Kõige suuremaid mõõtmisvigu tekitasid temperatuuriandurid, mis olid paigutatud anduritele ettenähtud taskute asemel torude peale. Sellistel juhtudel oli sagedane mõõteviga vahemikus -15% kuni -40%. Negatiivne väärtus antud olukorras tähendab tegelikust temperatuuriväärtusest väiksemat väärtust. Seega loeb arvesti ka tegeliku energiahulga asemel väiksemat suurust. Arvestitele tekitavad mõõteprobleeme peamiselt veel õhk (õhumullid), mustus ja küttesüsteemis ettenähtust madalamad süsteemirõhud. Arvestile mitte ette nähtud soojuskandva vedeliku kasutamisel võib tekkida mõõteviga kuni 10%. [1]

Eelnevalt mainitud probleemidest tavapäraste soojusenergiaarvestite kasutamisel lähtudes, oleks otstarbekas kasutada süsteemi, kus puuduvad liikuvad osad ning mida on võimalik kergesti paigaldada kas olemasolevatele või rajatavatele küttesüsteemidele. Üheks võimaluseks selle probleemi lahendamisel oleks paigaldada küttesüsteemi akumulatsioonimahutile, tavapäraselt olemasolevatesse sisenditesse, digitaalsed termoandurid, mille abil oleks süsteemi parameetreid teades võimalik arvutada salvestunud energia.

MATERJAL JA METOODIKA

Uurimustöö eesmärgiks oli leida akumulatsioonimahutile kolme termomeetri sisendisse paigutatud digitaalse temperatuurianduri abil mahutisse salvestunud energia. Uurimustööga seotud katsed viidi läbi Eesti Maaülikooli katlalaboris ja mõõtemetoodikat katsetati ka Tartu linnas, Võru tänaval paikneval ridaelamus.

Katlalaboris kasutati kütteseadmetena katelt „LUK-25“ ning katelt „Pelle“. Toodeitud soojusenergia akumulēeriti akumulatsioonimahutisse „AKP-1500“. Akumulatsioonimahuteid kasutatakse kütiskordade vähendamiseks ja kütistsüklite pikendamiseks keskküttesüsteemide puhul. Katla „LUK“ kütmine toimus halupuude abil. Katel „Pelle“ kütisel kasutati põletit „Atmos“, mis tarvitas kütusena puidugraanuleid ehk puidupelleide. Joonisel 1 on näha Eesti Maaülikooli katlalabor.



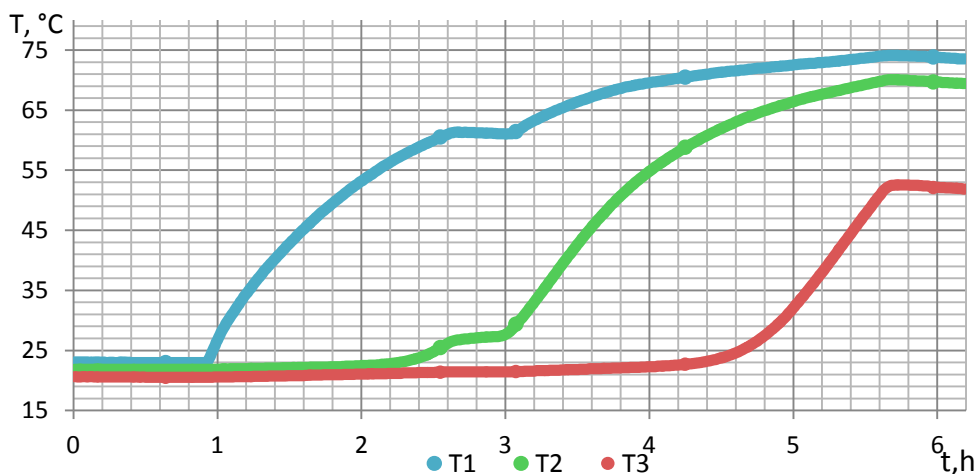
Joonis 1. Eesti Maaülikooli katlalabor

Figure 1. Estonian University of Life Sciences' boiler laboratory

Akumulatsioonimahutile olid küljele paigutatud 15 digitaalset temperatuuriandurit DS1820 ühtlase vahekaugusega 100 mm. Tegemist on anduritega, mis võimaldavad temperatuuri mõõta vahemikus -55°C kuni $+125^{\circ}\text{C}$ täpsusega $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Kuna igal anduril on olemas oma seerianumber, on võimalik ühendada mitut andurit ühe kaabli abil. Andurid olid ühendatud lauaarvuti RS-232 pordiga. Mõõtetulemuste salvestamine toimus operatsioonisüsteemis *Linux* tarkvara *DigiTemp* abil. Mõõtmiste sageduseks oli sätestatud 30 sekundit. [2]

Akumulatsioonimahuti termomeetri sisenditesse olid samuti paigaldatud andurid DS1820, kusjuures küljel paiknevad andurid olid kasutusel kolme anduri abil saadud tulemuste võrdlemiseks ning kontrollimiseks.

Joonisel 2 on kujutatud akumulatsioonimahutil kolme digitaalse temperatuurianduri abil mõõdetud temperatuuri muutus kütmise käigus. Antud kütmine on tehtud katel „Pelle“ abil.



Joonis 2. Katlalabori akumulatsioonimahuti temperatuuri muutus kütmisel
Figure 2. The change in temperature of the boiler laboratorie's accumulation tank during heating

Joonisel 2 on näha kolme anduri temperatuuri muutus. Andur tähisega T1 on mahuti kõige ülemine andur, T2 on vastavalt keskmine andur ning T3 on kõige madalamal olev andur. Jooniselt on näha mahutis toimuv kihistumine. Enne katse kolmandat tundi on näha lühiajaline temperatuuride tõusu lakkamine. See oli tingitud katla töö seiskamisest põleti kalibreerimise eesmärgil. Temperatuurid tõusevad mahutis kõigepealt ülalpool ning kütmise käigus soojeneb mahuti ka kiht kihi haaval alumisest osast. Selline nähtus tekib, kuna katlast tulev soojenenud vesi lisatakse mahutisse ülalt ning katlasse taas ringlusesse minev vesi saadakse mahuti allosas paikneva toru abil. Samuti on kuum vee tihedus väiksem jahedama vee tihedusest, mis põhjustab soojenenud vee tõusmist mahutis kõrgemale. Jaheda veega toimub vastupidine protsess.

Et arvutada mahutisse salvestunud energia, on vaja leida süsteemi keskmine temperatuur:

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} \cdot x_1 + \frac{T_2 + T_3}{2} \cdot x_2, \quad (1)$$

kus T on süsteemi keskmine temperatuur, °C;
 T_1 – mahuti ülemise anduri temperatuur, °C;
 T_2 – mahuti keskmise anduri temperatuur, °C;
 T_3 – mahuti alumise anduri temperatuur, °C;
 x_1 – esimese ja teise anduri vahemikku jääva vedeliku mahu suhe süsteemi kogumahtu;
 x_2 – teise ja kolmanda anduri vahemikku jääva vedeliku mahu suhe süsteemi kogumahtu.

Süsteemi kogumahtu leides peaks arvestama ka torustikus ning katlas oleva veega.

Salvestunud energia on leitav järgmiselt:

$$E = \Delta T \cdot c \cdot m, \quad (2)$$

kus E on salvestunud energia, kJ;
 ΔT – süsteemi temperatuurimuutus, K;
 c – soojuskandva vedeliku erisoojus, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
 m – soojuskandva vedeliku mass, kg.

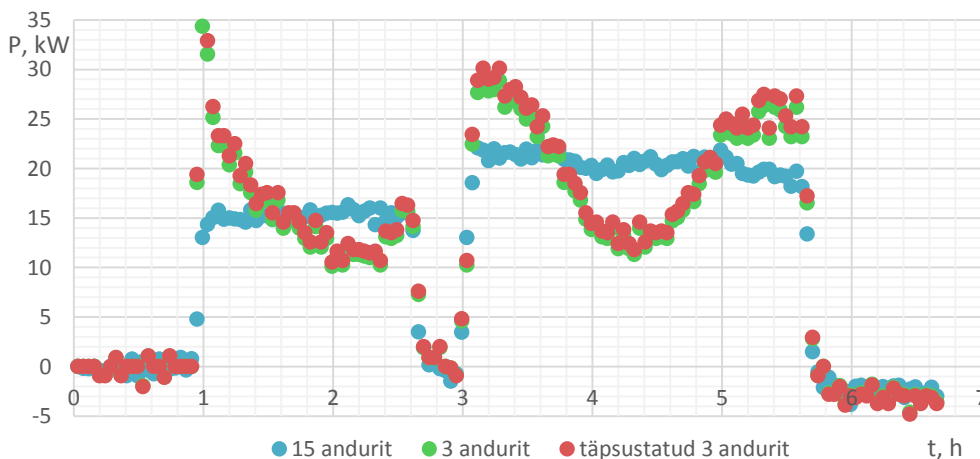
TULEMUSED JA ARUTELU

Kolme digitaalse temperatuurianduri abil leitud salvestunud energia täpsustamiseks leiti lineaarne sõltuvus 15 anduri ning kolme anduri abil leitud tulemuste vahel:

$$y = 1,0437 \cdot x - 3,895, \quad (3)$$

kus y on kolme digitaalse temperatuurianduri abil leitud täpsustatud salvestunud energia, kJ;
 x – kolme digitaalse temperatuurianduri abil leitud salvestunud energia, kJ.

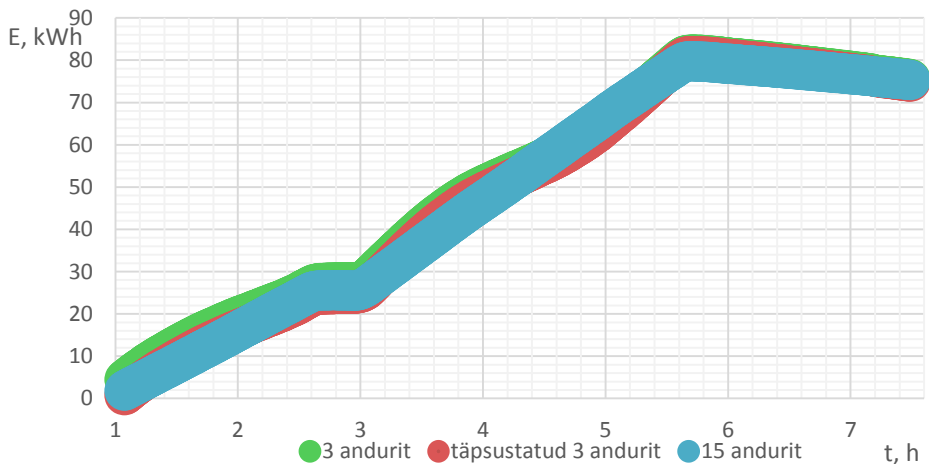
Joonisel 3 on kujutatud katla väljundvõimsuse muutust ajas.



Joonis 3. Katla väljundvõimsuse muutus ajas
Figure 3. The change in the boiler's output power

Jooniselt on näha, et kolme anduri abil mõõdetud tulemused ei ühti enamasti 15 anduri abil mõõdetud tulemustega kütmise käigus. Kui mahutile soojusenergiat juurde ei lisandu ning toimub jahtumine, ei esine kolme anduri puhul kütmise käigus tähendatud võimsuse tõusu ning langust.

Joonisel 4 on näha akumulatsioonimahutisse salvestunud energia muutus.



Joonis 4. Akumulatsioonimahutisse salvestunud energia muutus

Figure 4. The change of energy stored in the accumulation tank

Joonisel 4 on näha mahutisse salvestunud energia suurenemist kütmise käigus ning vähenemist jahtumisel. Enne katse kolmandat tundi on näha katla ajutine peatamine, mis väljendub energia lisandumise peatumises.

JÄRELDUSED

Uurimistöö tulemusena leiti seos täpsustamaks akumulatsioonimahutisse salvestunud energia leidmiseks kolme digitaalse temperatuurianduri abil. Seose kehtivust on kontrollitud Eesti Maaülikooli katlalaboris. Siinkohal soovin tänada lektor Mart Hovi ideede eest ning katsetuste teostamisel abistamises.

Sellise süsteemi kasutamiseks energiaarvestina, läheks vaja täiendavalt energiat tarbiva süsteemi mudelit.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Aecom, "An Investigation into Heat Meter Measurement Errors Final Report," [Online]. Available: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/375976/An_Investigation_into_Heat_Meter_Measurement_Errors_Final_Report_AECOM.pdf [Accessed 30 03 2016].
- [2] Maximintegrated, "High Precision 1- Wire Digital Thermometer," [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18S20.pdf> [Accessed 30 03 2016].

Comparative analysis of regularization filters for 3D printed structure's topology optimization.

Olga Petrova^{1,2}

¹ *University of Latvia, Faculty of Physics and Mathematics, Department of Mathematics*

² *Rezekne Academy of Technologies, Faculty of Engineering, Department of Information Technologies, Computer Engineering, Electronics, Telecommunications, Computer Management and Computer Science*

Abstract. An on-going progress in 3D printing industry has also influence on structural engineering. Nowadays, large scale 3D printers are building and can print real building structures. Therefore more complex geometries can be building and topology optimization becomes a significant issue in building industry. The work is devoted to the study of topology optimization and regularization filter comparative analysis using 3D design. We investigated two filters - sensitivity filter and Gaussian filter. We compute the optimization problem using a specially created Matlab code, where we change filter sensitivity, filter influence radius, sigma for Gaussian filter and material volume fraction. The main goal is to analyze these two filters and find out, which has smaller computation time and smaller value (for minimal compliance problem) of the objective function. The work provides an insight into applications of topological optimization. Several examples, for example, 3D railway steel bridge design, of 3D design optimization problems are outlined. The results and approaches developed can be used to study of other regularization filters in topology optimization. Examples which are described in work, can be created in live with a 3D printers.

Keywords. 3D printers, topology optimization, regularization

INTRODUCTION

From the material point of view the use of optimal design is usually fully loaded, that is, those in which all the material is evenly loaded. For such structures, topology optimization is performed for using the homogenization method. Design form is modified, based on the voltage values of the finite element. The design is iteratively changed, dropping the less busy elements. So being investigated optimal Isotropic material layout design [1].

In total there are three tasks of the type of structural optimization. The first is the optimal size of the distribution of elements at a constant geometric shape and topology. The second is the component size and geometry (shape) design optimization. As well as the third type are the design of topology optimization of a certain element in the shape and size. Unlike the element size and shape optimization, topological optimization allows you to find the optimal distribution of the material in a given area design with specific loads and boundary conditions.

Topology optimization is a computational material distribution method for synthesizing structures without any preconceived shape [2]. Topology optimization is a numerical method that allows determining the optimal distribution of material structures, without the need for a good initial guess. This independence from initial conditions principle allows finding previously unknown effective forms to be used in practice, so for topology optimization of interest to both specialists in applied mathematics, as well as engineers.

OPTIMIZATION PROBLEMS

Minimal Compliance

The objective of the minimum compliance problem is to find the material density distribution \tilde{x} that minimizes the structure's deformation under the prescribed support and loading condition [3]. The structure's compliance, which provides a global measure of deformation, is defined as

$$c(\tilde{x}) = \mathbf{F}^T \mathbf{U}(\tilde{x}),$$

where \mathbf{F} is the vector of nodal forces and $\mathbf{U}(\tilde{x})$, is the vector of nodal displacements. Incorporating a volume constraint, the minimum compliance optimization problem is

$$\begin{aligned}
& \text{find } \mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_e, \dots, x_n]^T \\
& \text{minimize } c(\tilde{\mathbf{x}}) = \mathbf{F}^T \mathbf{U}(\tilde{\mathbf{x}}), \\
& \text{subject to } v(\tilde{\mathbf{x}}) = \tilde{\mathbf{x}}^T \mathbf{v} - \bar{v} \leq 0 \\
& \mathbf{x} \in X, \quad X = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n: \mathbf{0} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{1}\}
\end{aligned}$$

where the physical densities $\tilde{\mathbf{x}} = \tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{x})$ are defined by a basic filter density function $\tilde{x}_i = \frac{\sum_{j \in N_i} H_{ij} v_j x_j}{\sum_{j \in N_i} H_{ij} v_j}$, where N_i is the neighborhood of an element x_i with volume v_i , and H_{ij} is a weight factor, n is the number of elements used to discretize the design domain, $\mathbf{v} = [v_1, \dots, v_n]^T$ is a vector of element volume, and \bar{v} is the prescribed volume limit of the design domain. The nodal force vector \mathbf{F} is independent of the design variables and the nodal displacement vector $\mathbf{U}(\tilde{\mathbf{x}})$ is the solution of $\mathbf{K}(\tilde{\mathbf{x}}) * \mathbf{U}(\tilde{\mathbf{x}}) = \mathbf{F}$. [2]

Compliant mechanism synthesis

A compliant mechanism is a morphing structure that undergoes elastic deformation to transform force, displacement, or energy. A typical goal for a compliant mechanism design is to maximize the output port displacement. The optimization problem is

$$\begin{aligned}
& \text{find } \mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_e, \dots, x_n]^T \\
& \text{minimize } c(\tilde{\mathbf{x}}) = -u_{out}(\tilde{\mathbf{x}}) = -\mathbf{L}^T \mathbf{U}(\tilde{\mathbf{x}}), \\
& \text{subject to } v(\tilde{\mathbf{x}}) = \tilde{\mathbf{x}}^T \mathbf{v} - \bar{v} \leq 0 \\
& \mathbf{x} \in X, \quad X = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n: \mathbf{0} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{1}\}
\end{aligned}$$

where \mathbf{L} is a unit length vector with zeros at all degrees of freedom except at the output point where it is one, and $\mathbf{U}(\tilde{\mathbf{x}}) = \mathbf{K}(\tilde{\mathbf{x}})^{-1} \mathbf{F}$. [2]

REGULARIZATION FILTERS

Regularization can be defined as correctness problem that the lack of stability and low error iterations of the process of growing. In topology optimization filters are introduced to avoid numerical instability. The filter of one or more parameters such as the Gaussian filter is σ . Of course, $\sigma > 0$ is the regularization parameter. [4]

Sensitivity filter

Nowadays sensitivity filter is one of the most common filters to be applied to the topology optimization. Sensitivity filter operating principle is the actual sensitivity value replacement with filtered sensitivity values. Given the sensitivity of the filter element is changed in each iteration by the following formula

$$\frac{\partial \widehat{c}(\mathbf{X})}{\partial x_i} = \frac{1}{\max(\gamma, x_i) \sum_{j \in N_i} H_{ij}} \sum_{j \in N_i} H_{ij} x_j \frac{\partial c(\mathbf{X})}{\partial x_j},$$

where $\gamma (= 10^{-3})$ is a small number in order to avoid division by zero.

Gaussian filter

Gaussian filter is a filter whose impulse response is a Gaussian function, or at least closer to it. One of the Gaussian filter characteristics is that it does not have overdrift staircase function inputs, minimizing the rise and fall time. This is because the Gaussian filter has a minimal group delay option. This is considered as the ideal time-domain filters, as well as a perfect sinc filter frequency [4]. Two-dimensional Gaussian filter looks like:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

RESULTS AND DISCUSSION

The article deals with a particular 3D structure - railway bridge. The figure can be seen that the bridge can be easily divided into three parts in phases.

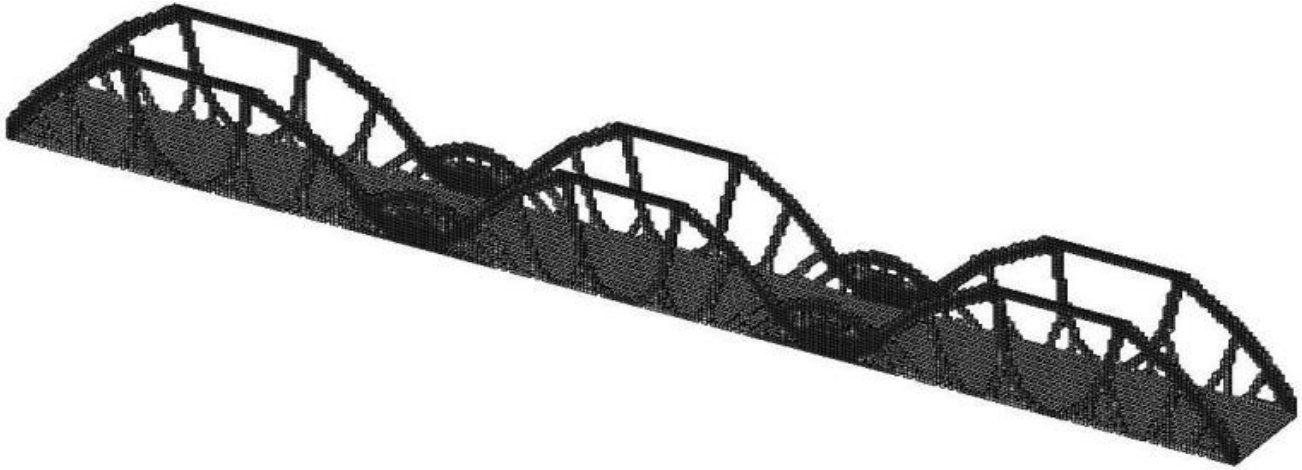


Figure 1. 3D structured railway bridge in MatLab

Thus, the filter comparison analysis was used for only a fragment of the bridge's. An example of the selected period:

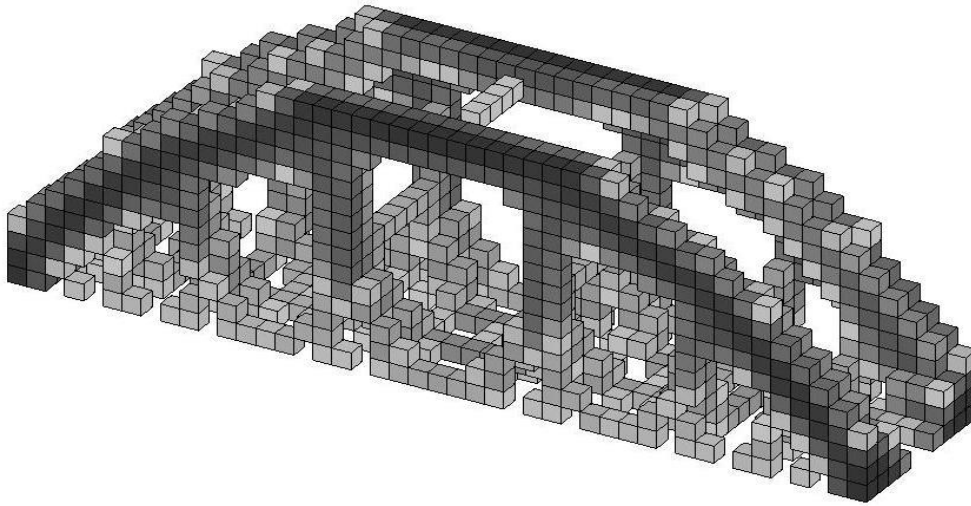


Figure 2. A fragment of bridge, which was used for filter comparison analysis

In work are compared two regularization filters. One of the most common - and uncommon sensitivity filter used - Gaussian filter. They have been compared in many respects, how the topological optimization objects, depending on the filter input parameter values. Also, which of the filters are able to quickly process the figure while consuming less time. As well as being compared by the design of the objective function of the final value (in this case the compliance of the design features). Because it is smaller, the less deforms the given design and thus has been found optimum, which is closer to the global compliance of the minimum functions.

Formulating the shape optimization problem initially strive to develop the most accurate finite element model that adequately describes the object behavior. This work used 8 nodes rectangular parallelepiped finite element based on linear elasticity theory, which describes the small structural deformation and linear relationship between the design stresses and deformations.

The study found that the optimal σ value is dependent on the mounting parts by volume, for example if it is 0.15, then σ is 1.0, which gives the smallest pliable, but if it is 0.25, then σ 0.2 which gives the smallest pliable construction.

Usage nowadays

Such a bridge is used today - Riga railway bridge. Already in earlier times people had wondered structural topological optimization. Hence, the method nowadays is very urgent and widely used. It helps to reduce the structural cost of construction as well as building speed.



Figure 3. Riga's railway bridge, ANNO 1955

Civil engineers when designing a new bridge design can use this work [4] as a basis for a rational filter selection. In work are given recommendations on how to choose a rational sensibility filter size, a Gaussian filter parameter σ , depending on the required construction volume parts. This work is the practical significance of the structural design and the results can be directly applied in practice.

CONCLUSIONS

This theme is topical and it is possible to develop and improve in the future. It would be more productive to explore the Gaussian filter, and nonlinear material mechanics theory framework, which continue to play an important, urgent information design optimization. It is also possible to build a broader regularization filter comparative analysis, incorporating a number of new filters. This comparison of several features to be useful when setting up a wide range of construction, but the cost and the materials used are limited.

REFERENCES

- [1] A. Januševskis and A. Meļņikovs, "Bloka formas optimizācija," *Scientific Journal of Riga Technical University "Mehānika"*, vol. 33, pp. 89-97, 2010.
- [2] K. Liu and A. Tovar, "An efficient 3D topology optimization code written in Matlab," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 50, no. 6, pp. 1175-1196, 2014.
- [3] J. Sliseris, G. Frolovs and K. Rocens, "Optimal Design of GFRP-Plywood Variable Stiffness Plate," *Procedia Engineering*, vol. 57, pp. 1060-1069, 2013.
- [4] O. Petrova, "Regularizācijas filtru salīdzinošā analīze 3D konstrukciju topoloģijas optimizācijai," Bachelor thesis, University of Latvia, Rīga, 2015.

Ühisanumtüüpi diiseltoiteaparatuuri tööpindade mikrometraaž

Micro meterage of surfaces in common rail diesel fuel supply apparatus

K.Küüt, R.Ilves

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Põllundus- ja tootmistehnika osakond

Abstract. Using Biofuels is very important nowadays, but it has impact on fuel system components. This article gives a small overview how the measurements are taken and how was our measuring methodology worked out. Measurement methodology is based on standard ASTM D6898 - 03(2010) and created for Bosch CP3 pump (0 445 020 175) and Bosch (0 445 110 076) injectors, which both are from second generation common rail system. Given methodology foresees measurements for tested parts before and after using in test bench. At the moment, preliminary test measurements are carried out and pump with injectors are being ready for endurance test. Parts of pump and injectors that are measured: Injector nozzle needle, backflow valve and needle, pump shaft, polygonal ring, housing inside, plungers and plunger buckets. In summary, it can be said that the chosen measuring method proved to be suitable in addition it is possible to execute all measurements in the Estonian University of Life Sciences. Quality of measuring methodology can be evaluated after endurance test and can be improved to get better results.

Keywords: kestuskatse, CR pihusti, Commonrail, CR pump, bioetanool, kulumiskatse

SISSEJUHATUS

Ühisanumtüüpi diiseltoiteaparatuuri tööpindade kulumise määramiseks tuleb tööpinnad enne katseid mõõta mitmel korral ja leida võimalusel tekkiv mõõte viga e. mõõtemääramatus. Lisaks tuleb silindrilisi kehasid mõõta erinevatest punktidest, kuna on teada, et ükski detail pole ideaalne, sellest tulenevalt markeeritakse mõõdetavad kohad, et hiljem oleks võimalik samast punktist mõõtmised läbi viia. Lisaks on ära määratletud ka, mis tüüpi kulumisi võib esineda toiteaparatuuri töös [3]:

1. Söövitav/oksüdeeriv kulumine keemiliste reaktsioonide näol;
2. Hõõrdumisest tekkiv kulumine metallpindade vahel, kui määrdeainet jääb väheseks;
3. Detailide purunemisel väikeste osade sattumine tööpindadele ja seal kulumise tekitamine.

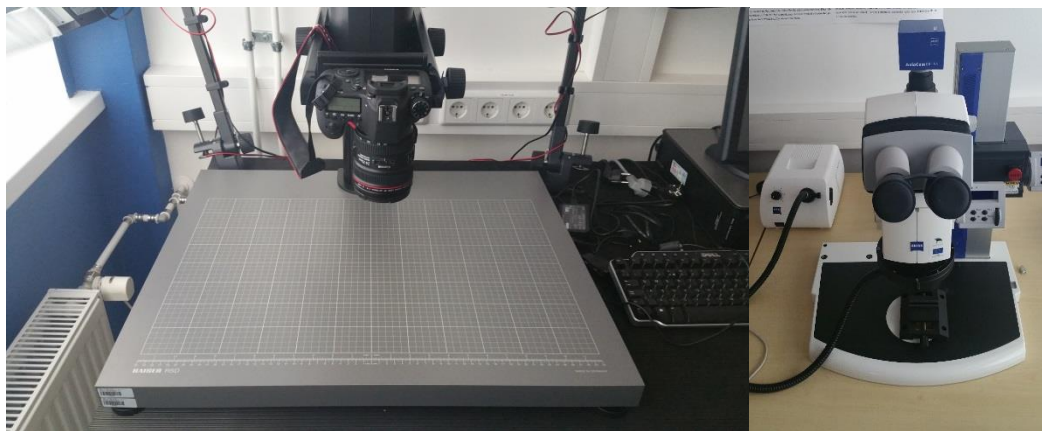
Etanoolkütuses sisalduv vesi on suurim korrosiooni tekitaja, lisaks on bioetanoolil kehvemad määrimisomadused ja ka viskoossus on madalam kui diiselkütusel [4].

MATERJAL JA METOODIKA

Töö metoodika seisneb erinevate võimaluste kasutamises, et mõõta kuluvaid pindasid ühisanumtüüpi diiseltoiteaparatuuris. Toiteaparatuuris on meie jaoks olulise tähtsusega pumba tööpinnad ja pihusti tööpinnad. Standardeid mõõtmiste läbi viimiseks on otsitud Eesti standardikeskuse kodulehelt ja ASTM INTERNATIONAL kodulehelt [5, 6].

Katsete läbiviimiseks on kasutatud standardi ASTM D6898 - 03(2010) baasil loodud mõõtemetoodikat, mida on ka eelnevalt kasutatud biokütuste kulumiskatsete läbi viimiseks erinevate toiteaparatuuri komponentidega [7]. Selle põhjal on loodud ka aruanne, mis aitas mõõtemetoodikat edasi arendada meile sobivaks.

Suuremate pindade jäädvustamiseks kasutatakse digitaalkaamerat ja millimeeteralust, mis on toodud joonisel 1. Väiksemate pindade puhul on elektromikroskoop, mis võimaldab väga detailseid pilte saada väikestest pindadest. Elektromikroskoobil on lisaks oma kaamera, mis võimaldab arvutisse kiirelt pildi salvestada vaadeldavast detailist, ning lisa valgus, et pildil oleks nähtavad ka avade sisemused.



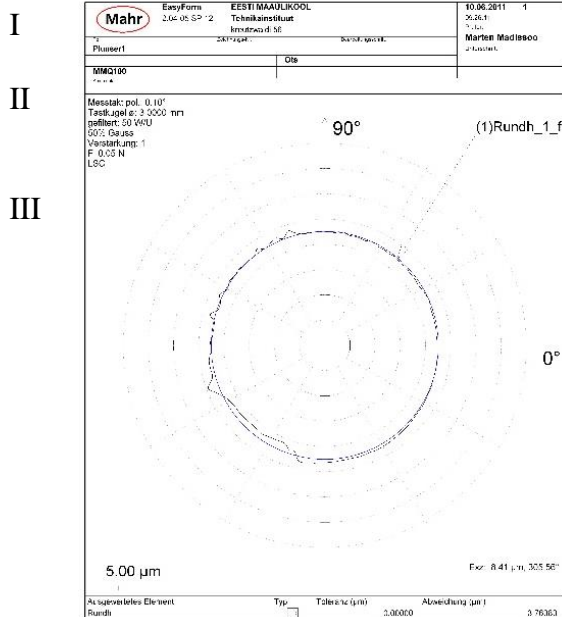
Joonis 1. Canon EOS6D kaamera, Canon EF 24-70mm f/2.8L USM objektiiiv ja mõõte alus ja Elektromikroskoop Zeiss SteREO Discovery.V12, valgustustoiteplokk Zeiss SteREO CL1500ECO ja kaamera Zeiss AxioCam ERc 5s.

Olulised vahendid peale jäädvustamisaparaatide on veel täpsusmõõtevahendid, näiteks nihkkaliiber ja mikromeeter. Mikromeetri täpsusklassiks on 0,01mm ja nihkkaliiberil SYLVAC S225 0,1mm.

Elektromikroskoobi all on jäädvustatud pihustite tagasivoolu avad, pihustite plunžrid ja pihusti nõelad. Kaamera ja millimeeterlaua on tehtud suurematest detailidest pildid: pumba nukkvõllist, pumbakorpuse sisemisest pinnast, pumba plunžrihülsidest, pumba nukkvõlli puksist ja pihusti tagasivooluklapist.

Katsete läbiviimiseks on valitud teise generatsiooni ühisanumtüüpi diiselteotesüsteem Bosch'ilt. Kütuse etteandeks on valitud Bosch'i CP3 pump (Joonisel 2) koodiga 0 445 020 175 ja Bosch'i pihustid tootekoodiga 0 445 110 076. CP3 tüüpi etteandepump valiti tema laialdase tarbe järgi. Neid pumpasid on erineva suuruse ja kütuse peale andega, ning neid leiab nii sõiduautodelt, kui rasveokitelt. Meie kasutuses on CP3.2, mis on kütusega määratav, ent on olemas ka CP3.4, mis on eraldi õlitusega määratav. Pihustite valiku põhjus on tingitud laialdasest levikust nii sõiduautodel kui väiksematel pakiautodel, millel 2.0 liitriise töömahuga mootorid. Eelpool mainitud koodiga pihustid kuuluvad Fiat'i, Citröen'i ja Peugeot ühisanumtüüpi toitesüsteemi. Joonisel 2 on näha pumba plunžrite jaoks valitud mõõtepunkte ja kujuhälbe testriga mõõdetud detaili. Tuginedes standardile sai valitud Bosch'i CP3

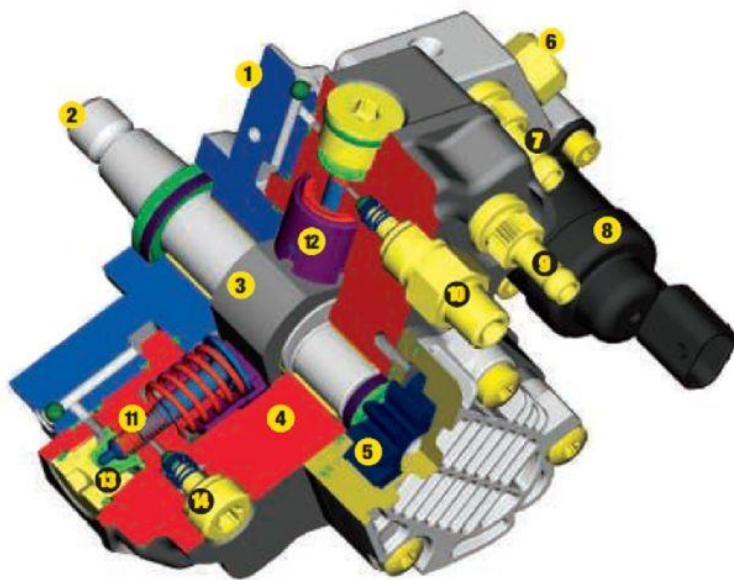
A photograph of a metal rod with a circular base. Three blue arrows point to the top surface of the rod, the side surface, and the base.



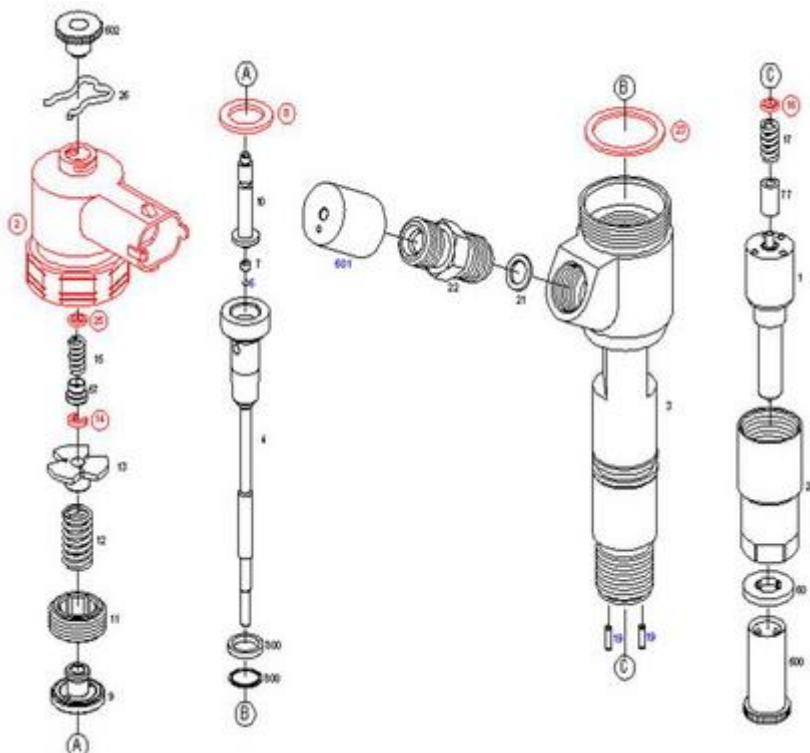
Joonisel 2 on näha plunžrit, millele on märgitud mõõtepunktid ja kõrval oleval pildil saab näha pinnal tekkinud kulumisi. Kõikide detailide puhul määratakse detailide kulumist peamiselt kuju ja läbimõõdu muutuse järgi. Esimene punkt on plunžri ülemisest servast 2 mm, teine punkt plunžri kulumispiiri algusest 5 mm ja kolmas punkt on alumise kulumisserve äärest 2 mm.

Töö tulemusena on välja valitud meile sobilik mõõtemetoodika kestuskatsetööde läbiviimiseks. Mõõtemetoodika koostamisel on kasutatud standardit ASTM D6898 - 03(2010), mis hindab kütuse määriivaid omadusi nii pumpades kui pihustites. Pumba juures olulised detailid, mis kuluvad on välja toodud Joonise 3 1 nimistus. Mõõtmise alla kuuluvad neist nukkvõll, nukkvõllipuksi sisepind, plunžrid ja plunžrihülssid. Pildid jäädvustatakse kõikidest nimekirjas nimetatud detailidest, et neid hiljem võrrelda.

12



Joonis 3. Bosch CP3 pumba ehitus [8] – olulised detailid: 2. Nukkvõll; 3. Nukkvõllipuks; 4. Pumba korpuse sisepind; 11. Plunžer; 12. Plunžrihülss



Joonis 4. Bosch'i pihusti skeem [9]

Eelpool kirjeldatud plunžri mõõtmispunktides on teostatud mõõtmised ja kantud need alljärgnevasse tabelisse 1, mõõtmispunktide illustratiivne osa on joonises 2. Igas punktis viidi läbi kokku 9 mõõtmist, mis teeb ühe plunžri kohta 27 mõõtmist. Mõõtmised teostati eelkirjeldatud mikromeetriga.

Tabel 1. Bosch CP3 pumba I plunžri mõõtmised millimeetrites

Asukoht	I			II			III		
Mõõtmiskord	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
0 °/ 360 °	7,497	7,495	7,494	7,492	7,495	7,493	7,492	7,494	7,493
120 °	7,495	7,495	7,495	7,492	7,493	7,493	7,492	7,493	7,492
240 °	7,495	7,494	7,494	7,493	7,493	7,492	7,493	7,493	7,493
Keskmine	7,496	7,495	7,494	7,492	7,494	7,494	7,492	7,493	7,493
Üld. Kesk.	7,495			7,493			7,493		

Tabelist on näha, et tööpind on ligikaudu 1µm kulunud oma ulatuses (2µm läbimõõdu kohta).

Pumba plunžer töötab hülsis ja peab väga täpne olema, sest tema tööülesanne on anda kõrgrõhu all olev kütus ühisanumsüsteemi, rõhul kuni 1550 bar'i. Plunžrite täpsusklass on 1-2µm. Iga plunžer istub ainult oma pessa, sellepärast on mõõdistamisel oluline ära märkida pesad, et ei tekiks pumba kokku panemisel probleeme.

KOKKUVÕTE

Käesolev uuring oli vajalik, et töötada välja mõõtemetoodika diiselteaparatuuri kestuskatse jaoks Bosch CP3 (0 445 020 175) pumbale ja Bosch'i (0 445 110 076) pihustitele. Mõõtemetoodika on töötatud välja standardi ASTM D6898 - 03(2010) alusel. Antud mõõtemetoodika näeb ette alg- ja lõppmõõtmisi toitesüsteemi osadel. Kasutades valitud metoodikat on teostatud algmõõtmised, mis on vajalikud kestuskatsete läbiviimise algfaasis. Pumba detailidest on mõõdetud plunžrid, plunžrihülisid ja nukkvõlli, lisaks on neist jäädvustatud fotod, mis on tehtud ka pumba korpuse sisemusest ja nukkvõlli püksist. Pihusti osadest on mõõdetud pihustusotsad, tagasivooluklapi avad ja nõelad. Väiksematest detailidest ja nende kulumispindadest on elektromikroskoobi abil jäädvustatud tööpindade kulumist näidanud kohti, pihusti osadest kõik eelpool mainitud tükid ja pumba osadest plunžrid. Kokkuvõtvalt võib öelda, et valitud mõõtemetoodika osutus igati sobilikuks, kuna Eesti Maaülikooli mõõtelabor võimaldab valitud parameetreid mõõta ja jäädvustada. Mõõtemetoodi valiku kvaliteeti saab hinnata kestuskatse uuringu tulemuste alusel. Saadud tulemuste põhjal tuleb vajadusel täiendada meie poolt välja töötatud mõõtemetoodikat, et saada kvaliteetsemaid mõõtmistulemusi.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Bosch, 1999. Diesel-engine management. 2 na Ed. Publ. Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Germany.
2. Bosch, 2001b. NHA: endurance investigation. Internal Report No. F00HP10063, Robert Bosch Corporation, Farmington Hills, MI, USA

3. Tucker, R.F., R.J. Stradling, P.E. Wolveridge, K.J. Rivers and A. Ubbens, 1994. The lubricity of deeply hydrogenated diesel fuels - the Swedish experience. SAE Technical Paper 942016.
4. Olt, J.; Mikita, V.; Ilves, R.; Küüt, A.; Madissoo, M. (2011). Impact of ethanol on the fuel injection pump of diesel engine, Jelgava, Latvia. (Toim.) Malinovska, L.; Osadcuks, V.. Latvia University of Agriculture, Engineering for Rural Development (248 - 253).
5. Eesti Standardikeskus, kättesaadav: <https://www.evs.ee/> (2016)
6. ASTM INTERNATIONAL, kättesaadav: <http://www.astm.org/> (2016)
7. Terry, B. 2005. Technical Report; Impact of Biodisel on Fuel System Component Durability, CRC Project No. AVFL-2a
8. Trucktrend, kättesaadav: <http://www.trucktrend.com/how-to/parts-accessories/1204dp-inside-the-bosch-cp3-injection-pump/> (2016)
9. China mobile, kättesaadav: <http://www.chinamobil.ru/bb/viewtopic.php?p=1452707> (2016)

Protection zones influence on water quality of the river Rezekne

D.Svikle

Rezekne Technological Academy, Faculty of engineering

Abstract Surface water body protection zones are determined to ensure the protection of the water body ecosystems, to decrease negative effects of pollution, to restrict anthropogenic activity and to maintain landscape quality. The width of protection zones impacts such contaminating chemical elements as nitrates, phosphates and nitrogen retention efficiency up to 100%. According to Latvian legislation and plan maps of Rezekne district, surface water body protection zone maximum width of the river Rezekne varies from 10 m in towns and villages up to 300 m in rural areas. Potentially the river Rezekne water quality may adversely affect protection zone width disregarding, that contributes intensive anthropogenic activity and dense buildings in urban and village areas. The aim of the work is to summarize information about protection zones influence on river water quality, as well determine Rezekne river water quality in certain sections. Work consists of theoretical and practical parts. In theoretical part is summarized information about the river Rezekne, regulations about protection zones and scientific publications. While in theoretical part has been cartographic analyze of the river Rezekne territory, the river Rezekne and its water protection zone visualization, as well determination of water quality in certain sections for nitrates, phosphates, pH level, water conductivity and saprobity index calculation.

Keywords: the river Rezekne, cartographical data processing methods, chemical researching methods, biological researching methods

INTRODUCTION

The river Rezekne is placed in the eastern part of Latvia. It is located in two different physiographic regions: Eastern lowland and highland of Latgale. The river flows out of Luban lake and flows into Razna lake. The river Rezekne is one of the largest rivers in the Daugava river basin (geographical coordinates: 56°30'23"N 27°19'50"E/56.50639°N). The river basin covers 2066 km². The length of the river Rezekne is 116 km, width varies from 6 to 20 metres. The largest populated areas along the river are Rezekne town (17, 48 km²) and villages: Kaunata, Ratinieki, Stolerova, Spruzeva, Griskani [7].

The main function of surface water body protection zones is to decrease negative effects of pollution and to protect water body ecosystems. According to the Latvian Protection zone law (February 5, 1997), the width of river protection zone depends on the length of the river and is different in rural areas, in towns and villages. Surface water body protection zone maximum width of the river Rezekne, that length is 116 km, varies from 10 m in towns and villages up to 300 m in rural areas [4,5].

The river Rezekne water chemical and biological quality may adversely affect protection zone width disregarding, that contributes intensive anthropogenic activity and dense buildings in urban and village areas. That can also potentially contaminate

the river ecosystem and decrease some contaminating chemical elements as nitrates, phosphates retention efficiency [7].

MATERIALS AND METHODS

Cartographic data processing methods

Cartographic data processing methods that used in the research was surface water protection zone of the river Rezekne territory most populated areas functional zoning maps analysis (Table 1) at scale 1:5 000 for rural villages and 1:15 000 for parishes.

Chemical researching methods

Water quality of the river of Rezekne was tested at thirty points to determine the following parameters: phosphates, nitrates, water conductivity, water pH level. Phosphate concentrations were determined by spectrophotometric method using device colorimeter Winlab. For nitrate concentrations researching were used nitrate indicator REF 913 13. Water pH level was measured with pH meter Adrona AM 1605, but water conductivity with equipment Waterproof EC Tester.

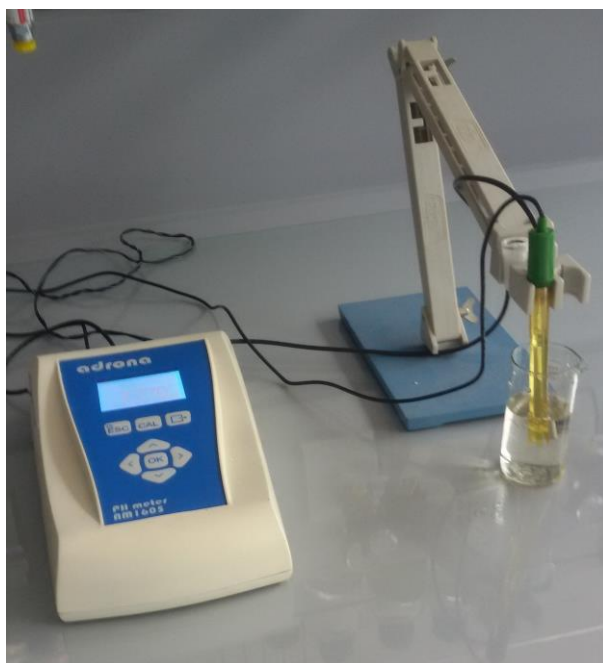


Figure 1. pH meter Adrona AM 1605

Biological researching methods

LVS 240:1999–Latvian standard that is used to research organic pollutants in the long term impacts for small rivers, based on macrozoobenthos organisms cenosis [3]. The methodology is used for small rivers and streams for biological quality control of the whole water body and its stage of survey, as well for detection of local pollution. For the researching of biological quality of the river Rezekne was used following

biological researching methods: macrozoobenthos sampling and analysis, to calculate saprobity index after following formula [2]:

$$S = \sum H \cdot Si \quad (1)$$

where S is the purity of the river
 H – species number class
 Si – mark of the sum H species.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The surface water protection zone of the river Rezekne territory was analyzed by cartographic analysis of the most populated areas, using district functional maps of Rezekne district (Table 1). The information about given territories, the occupied area (km²), its population and specificity of water protection zone was summarized in tabular form [7].

Table 1. Summary of the surface water protection zone of the river Rezekne in the parishes and other territories [7]

Territory	Area (km²)	Population (1.01.2014)	The surface water protection zone of the river Rezekne specific	Protection zone width (m)
Audriņu parish	66,9	1184	Overlaps with the sanitary and cemetery protection zones	to 300
Griskanu parish	76,8	2069	An important transport corridor area (state highway A 12), overlaps with Ancupanu cemetery protection zone	10–300
Kaunatas parish village territory	244,2	1333	The river of Rezekne flows out of lake Kaunata, that connects to lake Razna	to 10
Ozolmuizas parish	49	1036	Overlaps with Skredelu cemetery protection zone	to 300
Rezekne town	17,48	32 317	Mixed building areas, residential areas. Overlaps with cemetery protection zone	to 10
Rikavas parish village territory	82,2	808	An important transport corridor area (state highway V 561), overlaps with cultural monuments protection zone	to 10
Sakstagala parish	93	1571	Dolomite deposit Pertnieki	to 300
Stolerozas parish village territory	61,6	689	At eastern part overlaps with Stolerozas cemetery and cultural monuments protection zones	to 10
Kantīnieku parish	57,9	570	_____	to 300
Cornajas parish	150,9	1336	Spruktu reservoir at the southern part of parish on the river of Rezekne	to 300

It was found that the narrowest width of the surface water protection zone of the river Rezekne (to 10 m) is characterized for geographically larger areas with a relatively larger population. Given areas are characterized by dense construction and a dense network of road infrastructure. Furthermore, at many places water protection zone of the river Rezekne overlaps with cemetery and cultural monuments protection zones [5,7].

At thirty points of the river Rezekne were collected water and macrozoobenthos samples to determine biological and chemical water quality (Fig.2).



Figure 2.Water and makrozoobenthos sampling points at the river Rezekne

At the water and makrozoobenthos sampling points water temperature of the river Rezekne ranged from 15,5⁰C to 18⁰C.

Phosphates in water objects come from anthropogenic and animal generated waste, industrial impact and can cause eutrophication [1]. At the analyzed water samples phosphate concentration is ranging from 0,20 milligrams per liter to 2,3 milligrams per liter (Fig.3), that exceeds the permitted threshold 0,30 milligrams per liter (determined by the Latvian Cabinet of Ministers Regulation No.118 “Regulations of the surface and ground water quality”) [6]. Phosphorus is serious pollution level indicator [3]. The reason for the phosphate ion increased concentration might be communal water, that contains synthetic detergents, inflowing to the river Rezekne and diffusing runoff from agriculturally used areas that are contaminated with phosphorus-containing fertilizers.

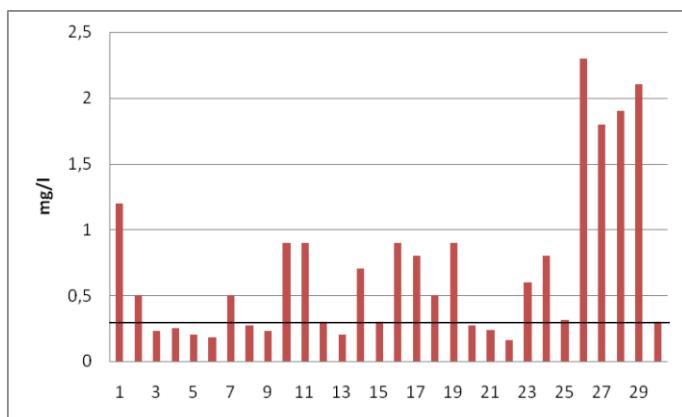


Figure 3.Phosphate concentration in analyzed water samples

Concentration of nitrate is ranging from 0,040 milligrams per liter to 0,089 milligrams per liter (Fig.4), that doesn't exceed the permitted threshold 0,4–8 milligrams per liter [6].

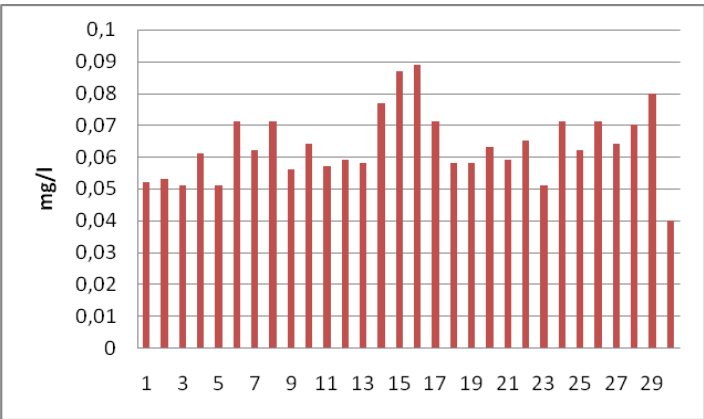


Figure 4. Nitrate concentration in analyzed water samples

In all analyzed water samples pH level is ranging from 7,2 to 8,2 (Fig.5), which means that environment is alkaline and the level of pH corresponds to Latvian Cabinet of Ministers Regulation No.118 “Regulations of the surface and ground water quality” permitted threshold 6,5–8,5 [6].

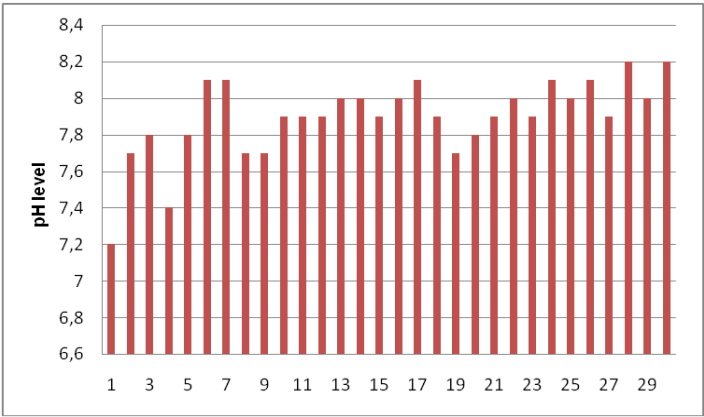


Figure 5. pH level in analyzed water samples

Electrical conductivity is a physical quantity that describes the capacity of water by conduction electrical current. It is related to the concentrations and quantity of salts that are dissolved in water. Clean water is not headed by an electric current. In analyzed water samples conductivity ranges from 229 to 371 microsiemens per centimeter (Fig.6) and doesn't exceed the permitted threshold 1000 microsiemens per centimeter [6].

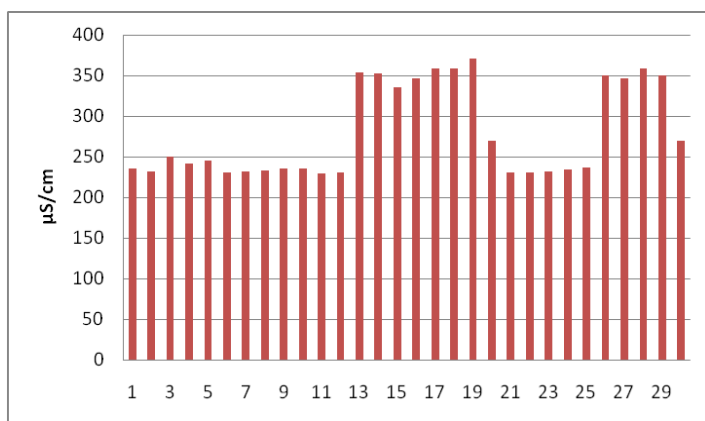


Figure 6. Electrical conductivity in analyzed water samples

In process of using biological researching methods, selecting makrozoobenthos samples in the river Rezekne at Rezekne town were identified 14 snails *Gastropoda*, 50 sedge-flies *Trichoptera*, 14 dragonflies *Odonata*, 8 mayflies *Ephemeroptera*, 10 leeches *Erpobdella octoculata* and 30 little worm group *Tubificidae* sp. representatives. Saprobity index was calculated by formula 1. It was researched that at the analyzed samples are characterized beta-mezosaprobity degree (saprobity index 1.7–2.3 that characterized by weak pollution). Saprobity index fluctuations are observed in some Rezekne river stages, for example, 100 m before waste water treatment installations it is 1.87, but 500 m more than 2.2.

CONCLUSIONS

1. An average Rezekne river surface water protection zone width varies from 10 to 300 metres.
2. At the urban and rural areas the river Rezekne functionality may be adversely affected by intensive anthropogenic activity and dense buildings in urban and village areas, that could potentially have a negative impact on the water quality of the river.
3. In the town Rezekne the river surface water protection zone sites are less than 10 metres, that could adversely affect the river Rezekne and its elements in terms of dense building and high developed transport infrastructure.
4. In analyzed water samples nitrate concentration, pH level, water conductivity corresponds to Latvian Cabinet of Ministers Regulation No.118 “Regulations of the surface and ground water quality”.
5. The river Rezekne is polluted by phosphates, the largest phosphate concentrations were found in the town Rezekne and Griskanu parish, where surface water protection zone of river is up to 10 metres.
6. Water quality varies in some river stages, the highest level of water pollution was detected at geographically larger areas with a relatively larger population.
7. For the river Rezekne is characterized beta-mezosaprobity degree and weak level of biological pollution.

8. The most distinctive saprobity index fluctuations are observed before and after the town Rezekne waste water treatment installations.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was scientifically supervised by Inara Laizane

REFERENCES

- [1] A.Vangelis, P.Razmys, E.Meidus, E.Teirumnieka, "Investigation of water quality of Rezekne River," in International Scientific and Practical Conference of environment, technology and resources, 2012.
- [2] D.Gruberts, "Watercourses biological quality assesment practicum," DU Saule, 2003.
- [3] F.Chang, H.Tsai and P.Chen, "Modeling water quality in an urban river using water quality and makrozoobentos factors," Environmental managing, p.320-345, 2015.
- [4] Latvian Republic legislation, "Methodology for the determination of surface water body protection zones" [Online]. Available: <http://likumi.lv/doc.php?id=176636> [Accesed 08.02.2016].
- [5] Latvian Republic legislation, "Protection zone law" [Online]. Available: <http://likumi.lv/doc.php?id=42348>. [Accesed 02.02.2016].
- [6] Latvian Republic legislation, "Regulations regarding the quality of surface waters and groundwaters " [Online]. Available: <http://likumi.lv/doc.php?id=60829> [Accesed 7.02.2016].
- [7] Rezekne district, "Rezekne district spatial plan" [Online]. Available: <http://rezeknesnovads.lv/grafiska-dala-pagastu-un-novada-kartes/> [Accesed 02.02.2016].

Skeletilihaste elektromüograafilise aktiivsuse muutused sõltuvalt soost, toolide disainist ning tegevusest

Electromyographic activity of skeletal muscles according to gender, chair design and aspects of the specific tasks

S. Ülper, E. Merisalu, J. Ereline

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

Abstract. Many students complain about musculoskeletal disorders, which may be caused by prolonged sitting and awkward body posture, especially when sitting is combined with a computer work. The aim of this study was to assess electromyographic activity of skeletal muscles among men and women, according to chair design and computer-related tasks. Electromyographic activity was measured in four muscles, using four different chairs and performing a task with a computer mouse and keyboard. The results showed that the bioelectrical activity of m. extensor digitorum was significantly higher among the women compared to the men when sitting on all the chairs and using both a keyboard and a mouse and bioelectrical activity of m. trapezius was significantly higher among the women compared to men when using only the mouse. The highest muscle bioelectric activity was measured when students were sitting on a laboratory chair and the lowest activity was measured when they were sitting on an ergonomic chair. It can be concluded that chair design, computer use, anthropometrical and vertebral physiological curves parameters may influence the prevalence of musculoskeletal disorders among students.

Key words: muscle activity, laptop computer, keyboard, computer mouse, chair design, musculoskeletal disorders, kyphosis, lordosis

SISSEJUHATUS

Tudengite seas esineb üha enam erinevaid luulihaskonna vaevusi, mis võivad olla tingitud pikka aega küürus istumisest ning staatilisest või muidu ebamugavast asendist, eriti kui istumine on kombineeritud arvutitööga [1]. Samuti on leitud, et luulihaskonna vaevuste esinemine on suurem sülearvuti kasutajate seas [2, 3]. Rajagopal jt (2012) uurisid luulihaskonna vaevuste esinemist tudengite seas ning selgus, et 88% uuritavatest (n=170) esinesid kaebused. Kaebusi esines rohkem sülearvuti kasutajate seas võrreldes nende tudengitega, kes kasutasid nii sülearvutit kui ka lauaarvutit või ainult lauaarvutit [2]. Samuti leidsid Chavda jt (2013), et sülearvuti kasutamine pikaajaliselt ebasobivas asendis on põhjustanud tudengite seas erinevaid luulihaskonna probleeme, mistõttu on vajalik suurendada teadlikkust ergonoomikast [3]. Kõige enam on tudengitel esinenud vaevusi kaelas, alaseljas, ülaseljas ning õlgades [4, 5] ning vaevustest teavitavad enamasti rohkem naised kui mehed [2, 5]. Oluliseks luulihaskonna vaevuste põhjustajaks on ka koolides kasutatav mööbel, kuna see ei vasta tihti õpilaste antropomeetrilistele näitajatele [6, 7, 8]. Odunaiya jt (2014) hindasid kõrgkoolis kasutatava mööbli sobivust tudengitele ning selgus, et umbes 80,4% oli tooli istme kõrgus sobimatu, istme sügavus oli aga sobimatu 76,7% tudengitel [7]. Samuti leidsid Baharampour jt (2013) 18-30 aastaseid tudengid uurides, et laudade ja toolide kõrgused ei olnud üliõpilastele sobilikud [8].

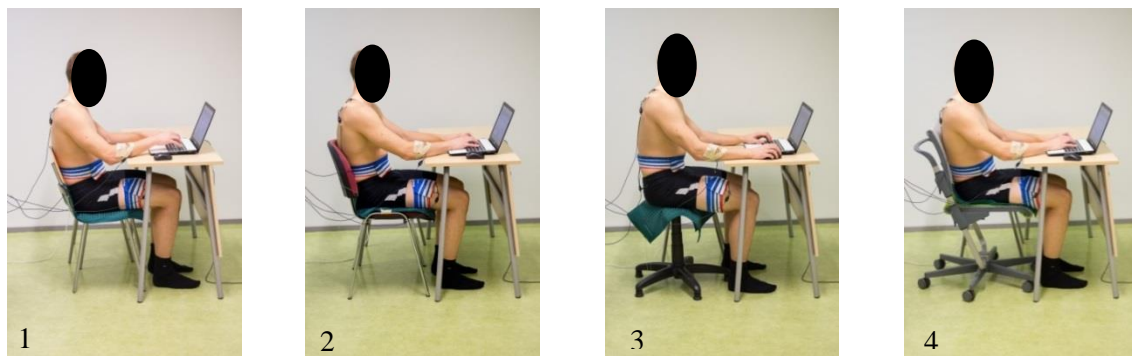
Antud uuringu eesmärgiks oli hinnata skeletilihaste elektromüograafilise aktiivsuse muutusi naiste ja meeste seas, võttes arvesse toolide disaini ning etteantud tegevust arvuti sisendseadmetega. Eesmärgist tulenevalt oli uurimisülesanneteks hinnata uuritavate antropomeetrilisi näitajaid ja lülisamba füsioloogilisi kõverusi ning võrrelda skeletilihaste elektromüograafilisi näitajaid naiste ja meeste vahel sõltuvalt tooli disainist ja tegevusest.

MATERJAL JA METOODIKA

Uuritavate leidmiseks koostati www.connect.ee keskkonnas üldankeet ning saadeti igale tudengile elektronpostiga. Üldankeedile vastas kokku 60 tudengit ning nõusoleku laboratoorseteks mõõtmisteks andis 32 tudengit. Laboratoorsed mõõtmised toimusid Eesti Maaülikooli Tehnikamajas ruumis A219 ajavahemikus 08.12.2015-21.12.2015. Uuringus osales vabatahtlikult kokku 10 meest ja

10 naist (n=20). Uuritavate valiku üheks kriteeriumiks oli sarnane kehamassiindeks (KMI). Kehamassiindeks on kehamass ja pikkuse ruudu suhe ning selle leidmiseks kasutati vastavat valemit, kus kehamass jagatakse kehapikkuse ruuduga (kg/m^2) [9].

Uuringu läbiviimiseks kasutati Tehnikamaja õpperuumides kolme laialt levinud tooli, millest üks oli puutool, teine tekstiilikattega pehme tool ning kolmas ilma seljatoeta reguleeritav pukktool ehk laboritool. Võrdluseks kasutati ergonoomilist reguleeritavat tekstiilkatte ja käetugedega tooli (joonis 1). Lisaks kasutati sülearvutit ning juhtmevaba arvutihiirt, et hinnata, kuidas mõjutab lihaste aktiivsust arvutihiire kasutamine ning klaviatuuril trükkimine (joonis 1). Igal uuritaval paluti internetis vabakasutusel oleva trükkimistesti järgi üks minutit trükkida ning kaks minutit arvutihiirega arvutimängu mängida. Enne eksperimendi läbiviimist määrati uuritaval esmalt pantograafia meetodil nimmelordoosi ja rinnaküfoosi nurk. Katsealune seisis katmata ülakehaga lõdvestunult, kaks jalga võrdselt põrandale toetunult ning käed kõrvale asetatuna pantograafi ette. Pantograafi hoovastiku otsas olev ratas liikus sujuvalt mööda lülisammast seitsmendast kaelalülist (C_7) kuni viienda nimmelülini (L_5). Samal ajal, kui toimus hoovastiku liikumine ühest punktist teise, joonistas teine hoovastik paberile lülisamba kujutise [10]. Lülisamba sagitaalprofiil võib suuresti varieeruda, kuid normaalseks nimmelordoosi nurgaks loetakse $20-60^\circ$ ning vastavalt rinnaküfoosil $20-40^\circ$ [11]. Lisaks mõõdeti vaatlusalustel standardse mõõdulindiga ($\pm 0,5 \text{ mm}$) püstiasendis ning ettepainutusel lülisamba pikkus alates C_7-L_5 . Antud tulemused fikseeriti sentimeetrites ning lülisamba jäikuse hindamiseks arvutati välja ka saadud tulemuste vahed (*Schober'i test*). Normiks loetakse vahet 10 cm ja enam. Seljavigastuste puhul või lülisamba jäikuse suurenemise korral on vahe väiksem kui 10 cm [12].



Joonis 1. Laboratoorsete mõõtmiste teostamine neljal erineval toolil: 1 – puutool; 2 – pehme tool; 3 – laboritool; 4 – ergonoomiline tool

Figure 1. Laboratory measurements taken at four different chairs: 1 – wooden chair; 2 – padded chair; 3 – laboratory chair; 4 – ergonomic chair

Lihaste bioelektrilise aktiivsuse hindamiseks kasutati uuringus elektromüograafia (EMG) meetodit, kus dublett elektrodid (*Noraxon Dual Electrodes*, USA) paigutati vastava lihase kohal nahapinna peale. Mõõdetavateks lihasteks olid trapetslihas (*m. trapezius*), selgroosirgestajalihas (*m. erector spinae*), sõrmedesirutajalihas (*m. extensor digitorum*) ning reiesirglihas (*m. rectus femoris*). Bioelektrilise aktiivsuse määramiseks nahapinna peal kasutati 16-kanalilist elektromüograafi ME6000 (*Mega Electronics*, Soome). Suhtelise EMG arvutamiseks kasutati järgmist valemit [13]:

$$\text{suhteline EMG} = \frac{\text{EMG}_i - \text{EMG}_0}{(1) \text{EMG}_{\max} - \text{EMG}_0} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Kus EMG_i on antud lihase määratud bioelektriline aktiivsus tegevuse käigus (μV);
 EMG_0 – antud lihase määratud bioelektriline aktiivsus rahulolekus (μV);
 EMG_{\max} – antud lihase määratud bioelektrilise aktiivsus maksimaalsel tahtselisel pingutusel (μV);

Andmete statistiliseks analüüsiks kasutati andmetöötlusprogramme *Microsoft Office Excel* 2010 ning *SPSS.23.0*. Arvutati gruppide keskmised tulemused koos standardveaga (SE). Gruppide

keskmiste erinevuse olulisuse võrdlemiseks kasutati t-testi ning tunnuste vaheliste seoste hindamiseks *Pearson*’i korrelatsioonanalüüsi. Statistiliselt oluliselt erinevuseks loeti $p < 0,05$.

TULEMUSED JA ARUTELU

Uuringus osales kokku 20 Eesti Maaülikooli Tehnikamja tudengit, kellest 10 olid naised ning 10 mehed. Meeste keskmiseks vanuseks oli 23,10 (\pm SE 0,50) aastat ning naistel 23,60 (\pm SE 1,07) aastat. Tabelis 1 on välja toodud meeste ja naiste gruppide keskmised antropomeetrilised näitajad. Mehed olid võrreldes naistega oluliselt pikemad (*t*-test, $p < 0,001$) ning kaalusid oluliselt rohkem (*t*-test, $p < 0,001$). Kehamassiindeksi osas meeste ja naiste vahel olulisi erinevusi ei esinenud.

Tabel 1. Uuritavate antropomeetrilised näitajad

Table 1. Subjects anthropometric indicators

Näitaja	Mehed	Naised	p
	keskmine \pm SE	keskmine \pm SE	
kehapikkus (cm)	182,00 \pm 0,89	168,40 \pm 1,17	$p < 0,001$
kehamass (kg)	74,20 \pm 2,51	61,30 \pm 1,73	$p < 0,001$
kehamassiindeks (KMI)	22,41 \pm 0,77	21,62 \pm 0,59	-

Lüüsisamba füsioloogiliste kõveruste hindamisel selgus, et üldiselt jäid meeste ja naiste rinnaküfoosi (TK°) ning nimmelordoosi (LL°) nurgad normi piiresse (Tabel 2). Lüüsisamba sagitaalprofiil võib suuresti varieeruda, kuid nimmelordoosi nurk on tavaliselt suurem (20-60°) kui rinnaküfoosi nurk (20-40°) ning üldiselt on nimmelordoos naistel rohkem väljendunud kui meestel [11]. Lisaks lüüsisamba füsioloogilistele kõverustele hinnati ka uuritavate lüüsisamba pikkust ning nimmeosa liikuvust. Selgus, et meestel oli võrreldes naistega oluliselt suurem lüüsisamba pikkuse näitaja (*t*-test, $p < 0,001$) ning oluliselt erinesid ka *Schober*’i testi tulemused, mis näitasid, et meeste grupil oli oluliselt parem nimmeosa liikuvus võrreldes naiste grupiga (*t*-test, $p < 0,01$). Kuigi meestel olid oluliselt paremad näitajad, ei jäänud meeste ja naiste tulemused siiski *Schober*’i testi normi piiresse, kuna mõlema grupi keskmised tulemused jäid alla 10 cm. Kui *Schober*’i testi tulemus jääb alla 10 cm, võib lüüsisamba jäikus olla suurenenud [12].

Tabel 2. Lüüsisamba füsioloogiliste kõveruste hindamise tulemused meestel ja naistel

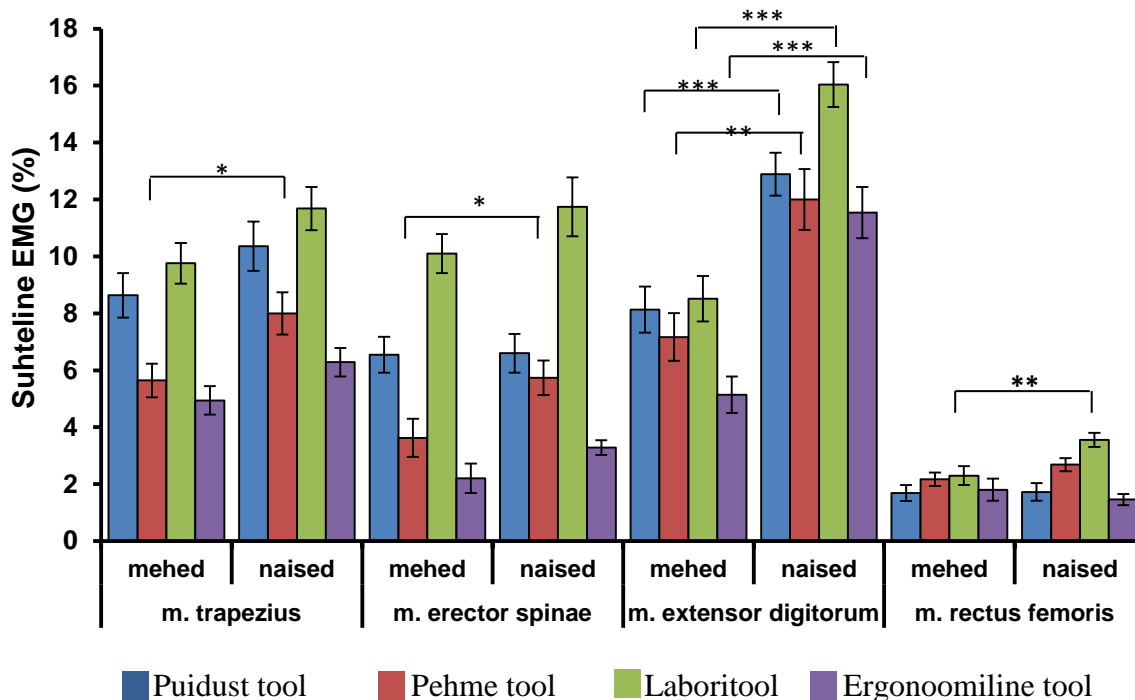
Table 2. The vertebral physiological curve assessment for men and women

Näitaja	Mehed	Naised	p
	keskmine \pm SE	keskmine \pm SE	
rinnaküfoosi nurk (TK°)	24,95 \pm 1,90	24,64 \pm 2,18	-
nimmelordoosi nurk (LL°)	24,00 \pm 1,85	29,20 \pm 2,59	-
Δ° (TK° ja LL° vahe)	5,77 \pm 1,16	5,88 \pm 2,23	-
lüüsisamba pikkus (cm)	46,01 \pm 0,91	40,54 \pm 0,54	$p < 0,001$
<i>Schober</i> ’i test (cm)	9,31 \pm 0,48	7,22 \pm 0,46	$p < 0,01$

Joonisel 2 on välja toodud klaviatuuri kasutamise mõju erinevatele lihastele, sõltuvalt soost ning tooli disainist. Selgus, et kõige olulisemad erinevused meeste ja naiste vahel esinesid sõrmedesirutajalihas (*m. extensor digitorum*) osas, kuna naistel olid kõikidel toolidel istudes antud lihases oluliselt suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajad. Kõige suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajad esinesid naistel eelmainitud lihases laboritoolil ning puutoolil istudes, samuti ka ergonoomilisel ning pehme istelaga toolil istudes. Olulised erinevused esinesid ka trapetslihas (*m. trapezius*) ning selgroosirgestajalihas (*m. erector spinae*) osas, kus naistel olid pehmel toolil istudes antud lihastes oluliselt suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajad. Kõige madalamad näitajad esinesid uuritavatel reiesirglihas (*m. rectus femoris*), kuid siiski oli naistel laboritoolil istudes antud lihases oluliselt suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajad.

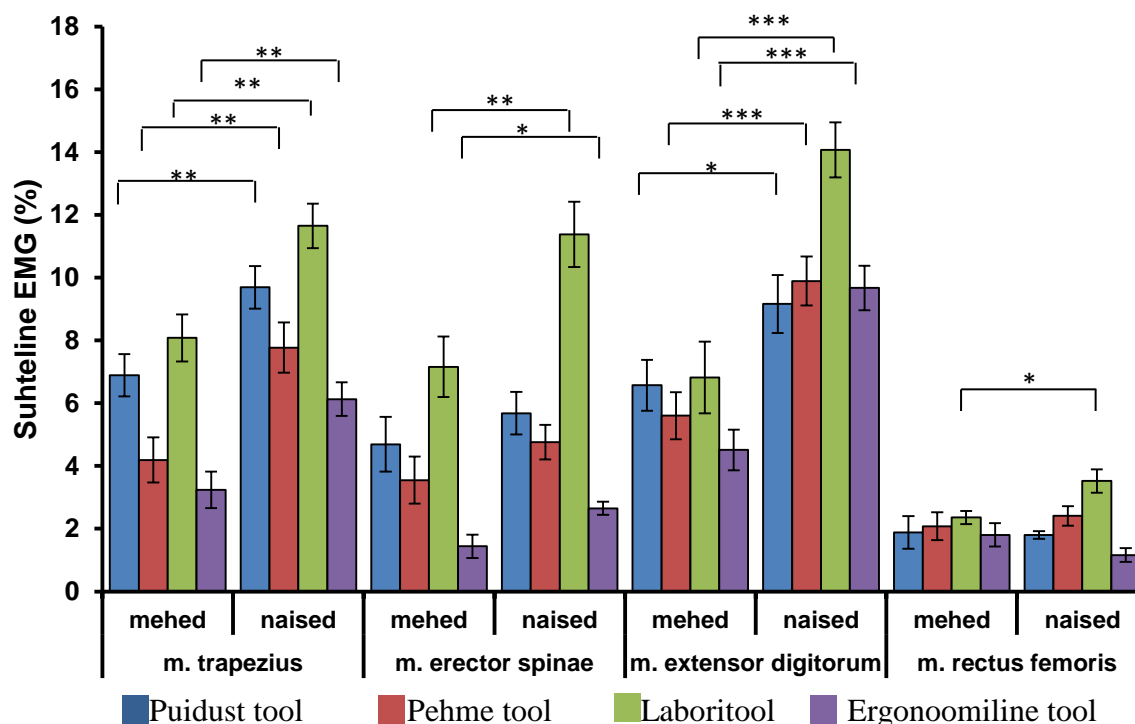
Joonisel 3 on aga näha arvutihiire kasutamise mõju erinevate lihaste bioelektrilisele aktiiv-

susele, sõltuvalt soost ning tooli tüübist. Kui klaviatuuri kasutamisel esinesid suurimad erinevused sõrmedesirutajalihas osas, siis arvutihiire kasutamisel suurenesis lisaks ka oluliselt bioelektrilise aktiivsuse näitajad trapetslihas.



Joonis 2. Klaviatuuri kasutamise mõju lihaste bioelektrilisele aktiivsusele, sõltuvalt soost ning tooli disainist (keskmine \pm SE). * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Figure 2. Keyboard use impact of muscle parameters, depending on gender and the design of the chair (mean \pm SE). * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$



Joonis 3. Arvutihiire kasutamise mõju lihaste bioelektrilisele aktiivsusele, sõltuvalt soost ning tooli disainist (keskmine \pm SE). * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Figure 3. Computer mouse use impact on muscle parameters, depending on gender and the design of the chair (mean \pm SE). * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Naistel olid kõikidel toolidel istudes trapetslihases ning sõrmedesirutajalihases oluliselt suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajad võrreldes meestega. Samuti esines olulisi erinevusi selgroosirgestajalihase bioelektrilise aktiivsuse osas. Naistel olid laboritoolil ning ergonoomilisel toolil istudes antud lihases oluliselt suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajad võrreldes meestega. Kõige madalamad näitajad esinesid uuritavatel reiesirglihases (*m. rectus femoris*), kuid siiski oli naistel laboritoolil istudes antud lihases oluliselt suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajad võrreldes meestega. Joonistel 2 ja 3 on näha, et kõige enam on mõjutatud sõrmedesirutajalihas ning trapetslihas, vähem selgroosirgestajalihas ning reiesirglihas. Suurimad bioelektrilise aktiivsuse näitajad esinesid uuritavatel laboritoolil istudes. Kõige madalamad näitajad esinesid aga ergonoomilisel toolil istudes nii meestel kui ka naistel.

Lisaks näitas Pearson'i korrelatsioonanalüüs, et arvutihiire kasutamisel korreleerusid omavahel lumbaarlordoosi nurk ning trapetslihase bioelektriline aktiivsus puutoolil istudes ($r=0,507$, $p=0,02$) ja pehmel toolil istudes ($r=0,543$, $p=0,01$). Puutoolil istudes ning klaviatuuril trükkides esines positiivne korrelatsioon lumbaarlordoosi nurga ja reiesirglihase bioelektrilise aktiivsuse vahel ($r=0,450$, $p=0,045$). Pehmel toolil istudes ja arvutihiire kasutamisel korreleerus positiivselt lumbaarlordoosi nurk ning selgroosirgestajalihase bioelektriline aktiivsus ($r=0,463$, $p=0,04$). Sarnaselt t-testiga näitas ka Pearson'i korrelatsioonanalüüs, et kõige olulisemad erinevused esinesid sugude vahel ning kõige suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajate erinevused esinesid trapetslihase ning sõrmedesirutajalihase osas. Uuringutest on leitud, et arvuti kasutamine võib suuresti mõjutada luulihaskonna vaevuste esinemist ning enam teavitavad vaevustest naised [2, 5]. Sarnaselt Dockrell jt (2015) ning Rajagopal jt (2012) uuringuga leiti ka antud uuringust, et naistel olid võrreldes meestega oluliselt suuremad bioelektrilise aktiivsuse näitajad nii trapetslihase kui ka sõrmedesirutajalihase osas, mis võib olla pikemas perspektiivis ka luulihaskonna vaevuste tekitajaks [2, 5].

JÄRELDUSED

1. Kehamassiindeksi osas gruppide vahel olulisi erinevusi ei esinenud, kuigi mehed olid võrreldes naistega oluliselt pikemad ning kaalusid rohkem.
2. Meestel oli oluliselt parem nimmeosa liikuvus ning pikem lülisammas võrreldes naistega.
3. Sõrmedesirutajalihase bioelektrilise aktiivsuse näitajad olid naistel nii trükkimisel kui ka arvutihiire kasutamisel ning trapetslihase näitajad hiire kasutamisel kõikidel toolidel istudes oluliselt kõrgemad võrreldes meestega.
4. Kõikide skeetilihaste bioelektriline aktiivsus nii trükkimisel kui ka arvutihiire kasutamisel oli suurim istudes laboritoolil ning väikseim istudes ergonoomilisel toolil.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Saarni, L., Nygård, C. H., Kaukiainen, A., Rimpelä, A. (2007). Are the desks and chairs at school appropriate? – *Ergonomics*. Vol. 50, No. 10, pp. 1561-1570.
- [2] Rajagopal, V., Rosli, R. M., Rintai, P., Rustim, N., Benadus, R., Usai, W. (2012). The Prevalence of Computer-Related Musculoskeletal Pain Among College Students-a Cross-Sectional Study. – *American Medical Journal*. Vol. 3, No. 1, pp. 33-36.
- [3] Chavda, E., Parmar, S., Parmar, M. (2013). Current practice of laptop cumputer and related health problems: a survey based on ergonomics. – *International Journal of Medical Science and Public Health*. Vol. 2, No. 4, pp. 1024-1026.
- [4] Chang, C., Amick, B. C., Menendez, C. C., Katz, J. N., Johnson, P. W., Robertson, M., Dennerlein, J. (2007). Daily Computer Usage Correlated With Undergraduate Students' Musculoskeletal Symptoms. – *American Journal of Industrial Medicine*. Vol. 50, No. 6, pp 481-488.
- [5] Dockrell, S., Bennett, K., Culleton-Quinn, Elizabeth. (2015). Computer use and musculoskeletal symptoms among undergraduate university students. – *Computers & Education*. Vol. 85, pp. 102-109.
- [6] Saes, M. O., Ribeiro, C. D., Muccillo-Baisch, A. L., Soares, M. C. F. (2015). Prevalence of musculoskeletal pain and its association with inadequate school furniture. – *Revista Dor*. Vol. 16, No. 2, pp. 124-128.
- [7] Odunaiya, N., Owonuwa, D. D., Oguntibeju, O. O. (2014). Ergonomic suitability of educational furniture and possible health implications in a university setting. – *Advances in medical education and practice*. Vol. 5, pp. 1-14.

- [8] Baharampour, S., Nazari, J., Dianat, I., AsghariJafarAbadi, M. (2013). Student's Body Dimensions in Relation to Classroom Furniture. – *Health promotion perspectives*. Vol. 3, No. 2, pp. 165-174.
- [9] BMI classification. (2006). – *World Health Organization*. [WWW]
http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html (30.03.2016)
- [10] Willner, S. (1981). Spinal pantograph – a non-invasive technique for describing kyphosis and lordosis in the thoraco-lumbar spine. – *Acta orthopaedica Scandinavica*. Vol. 52, No. 5, pp. 525-529.
- [11] Spinal Disorders: Fundamentals of Diagnosis and Treatment. (2008). Germany: Springer./ Eds. N. Boos, M. Aebi. 1166 pp.
- [12] Clinical Tests for the musculoskeletal system. (2008). Stuttgart, NewYork: Thieme. /K. Buckup. 326 pp.
- [13] Strasser H., Fleischer R., Keller E. (2007). Muscle strain the hand-arm-shoulder system during typing at conventional and ergonomics keyboards. – *Assessment of the Ergonomic Quality of Hand-Held Tools and Computer Input Devices*. /H. Strasser. Ergonomics, Human Factors and Safety, Vol. 1. Netherlands. IOS Press, pp. 75-88.

The Importance of Colors Ergonomics for Workplaces Design

K. Uzulena

Rezekne Academy of Technologies, Faculty of Education, Languages and Design, Master study program “Design”.

Abstract. Nowadays people start to pay more attention to choosing the colors at the workplace; as a result they increase productivity of performance. Research was conducted in order to discover how strong the colors influence human productivity in doing their work. For study comparative research method was chosen. The analysis of qualitative multiple literature reviews was used. It was mainly focused on the scientific literature and issue of publications related to subject of the study. There are two main objectives of the research paper: the first objective is to clarify how the colors affect the productivity of work; the second objective is to find out which colors are mostly used in Latvian's offices. Colors are in close connection with humans psychological functioning, which means that by using a particular color we are able to affect the quality of work. Therefore, by using wrong color we can reach the opposite result. The color could create an atmosphere of a workplace. The link between the color and its interpretation is an ergonomic tool which makes a design more intuitive and natural for everyone in order to achieve certain goals. In order to save productivity of employees we have to avoid white color which cause escalating of the error rate, therefore is necessary to choose the colors which are responsible for harmony and psychological balance like green color.

Key words: Color; ergonomics; design; workplace; offices.

INTRODUCTION

We are surrounded by information of colors, because the each object such as room or environment has particular color. Large portions of our brain (the visual cortex) are used to interpret the signals from the eye into an understandable picture in the brain. And even more brain power is spent to understand that imagery [1]. Therefore, the color is fundamental part of design ergonomics which changes our mood, feelings and as a result it can influence productivity and behavior.

In 1666, Sir Isaac Newton raised a triangular glass prism, intercepted a beam of sunlight, and proved that white light is composed of all visible colors of the spectrum. This event initiated a fascination with the qualities of color, and that connection between color and interpretation is a connection that ergonomics can exploit to make things more intuitive and natural [2].

In private accommodation there is a possibility to choose the wishful color of walls, often on the base of sixth sense. However, there is no such possibility in workplace.

Comfortable working environment – it is not only ergonomic working table, chair and necessary working tools, but also coloring of workplace, including wall painting. All together it forms the basis for daily work, and this is important, because most of the time is spent in the workplace, indoors.

Research was conducted in order to discover how strong the influence of colors on human productivity is during their work.

During the survey respondents were able to express their views on the preferred color of the walls in office. The data indicated that the wishful color differs from the actual one.

Major part of different literature sources says that color and its' combinations in space can promote the efficiency of work. Thus, red color is appropriate for short tasks, blue color – for workplace, where new ideas have been generated, in turn yellow color is the color of optimism, but in conference halls it is alarming. Grey color is neutral from psychological point of view, it stimulates people to become more passive, inspire of this the grey color can be good background for other, more active colors. Green color creates harmony and balance that is why olive green color is mentioned as one of the best colors of walls in offices, that creates psychologically natural and productive working environment.

MATERIALS AND METHODS

For study was chosen comparative research method. The analysis of qualitative multiple literature reviews was used. It was mainly focused on the scientific literature and issue of publications related to subject of the study. In order to clarify what colors are mostly used in Latvian`s offices the survey were made.

As one of the main tasks in the analysis of materials was to find color selection mistakes in modern workplaces, as well as to crystallize color solutions that promotes work productivity (Table 1).

Theoretical background

Ergonomics is an applied science discipline in which researchers bring to bear knowledge about behavioral and biological sciences to change the design of work products and work systems and, ultimately, to help people and organizations [3].

Lighting in the workplace is another key ergonomic feature, because adequate lighting determines the level of comfort in the workplace decreases the possibilities to get professional diseases and provides necessary productivity. In general, the level of room lightings should be bright enough to avoid the eyestrain that can come from the sharp contrast between the brightness of the screen and surrounding area [4].

“Color travels to us on wavelengths of photons from the sun. And when they strike a colored object, that object absorbs only the wavelengths that match its own atomic structure, and they reflect the rest, and that’s what we see. So the different wavelengths strike the eye in different ways. In the retina, they are converted into electrical impulses that pass to the part of the brain known as the hypothalamus, which governs our endocrine system and hormones, and much of our activity [5].”

Color also is energy and the fact that it has a physical effect on us has been proved time and again in experiments – most notably when blind people were asked to identify colors with their fingertips and were all able to do so easily [5]. Regardless of whether a person is susceptible to the influence of the color or the color affects him weak reflected light of a particular color can have a physical effect, even if it is not seen through the eyes. Color is used in design to attract attention, group elements, indicate meaning, and enhance aesthetics. Color can make designs more visually interesting and aesthetic and can reinforce the organization and meaning of elements in

a design. If applied improperly, however, color can seriously harm the form and function of a design. The following guidelines address common issues regarding the use of color [6]. Use saturated colors (pure hues) when attracting attention is the priority. Use the less saturated colors when performance and efficiency are the priority. Generally, desaturated, bright colors are perceived as friendly and professional; desaturated, dark colors are perceived as serious and professional; and saturated colors are perceived as more exciting and dynamic (Fig. 1). Exercise caution when combining saturated colors, as they can visually interfere with one another and increase eye fatigue [6].

“What defines whether a color is stimulating or soothing is not the color, it’s the intensity. A strong bright color will stimulate, and a color with low saturation will soothe.”

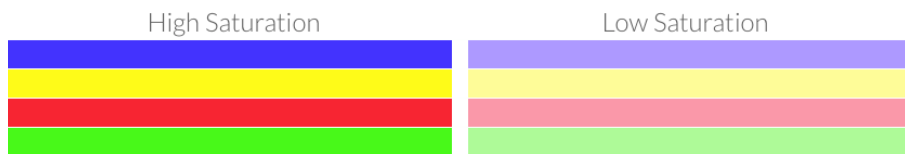


Figure 1. Color intensity comparison. Source [5]

“The four psychological primaries are: red, blue, yellow, and green (Fig. 2). And they affect the body (red), the mind (blue), the emotions, the ego, and self-confidence (yellow), and the essential balance between the mind, the body, and the emotions (green).” Interestingly, when you combine more than one color, you get the effects of both of them. For example, if you combine a highly-saturated yellow with a highly-saturated blue, you will get a color that stimulates both your emotions (yellow) and mind (blue) [5].



Figure 2. The psychological impact of primary colors. Source [5]

There is no such thing as a universally attractive color (Table 2). It is the combination of colors that triggers the response. The key factor that Angela Wright (a world-renown color psychologist) recognized in studying color psychology was that, equally, there are no wrong colors; we do not respond to just one color, but to colors in combination. In many ways, color and music work the same way [5]. **Important is a color combination and color proportions in a room** – by using active and intensive red in small proportions in a room we will stimulate analytical thinking of employees, as well as fulfillment of current tasks, but to avoid the aggressiveness and overwhelming sense it is necessary to complete a room with emotionally neutral color such as grey or white, that will make a balance for the impact of active color. In that case could be suitable yellow color with low saturation, till get warm white color that helps get friendlier and creative work environment. In color combinations should be the one that dominates (e.g. specific emphasis in a room). Taking into account the variety of such color combinations we will obtain uniform working productivity during the day [7].

Of the existing research that is theoretically based, most has been loosely guided by Goldstein's (1942). Goldstein's proposal in terms of wavelength and arousal: Longer-wavelength colors like red are experienced as arousing, and shorter-wavelength colors like green are experienced as calming (e.g., Stone & English, 1998). Different colors are presumed to have different associations, and viewing a color is thought to trigger psychological responses consistent with these associations [7].

Firstly, how could we prove does color able to change our perception and feelings for instance warm colors, such as orange, red and yellow can cause people to think the temperature in the room is warmer than it actually is. Cool colors, such as blue, green and light purple cause people to estimate the temperature is colder [8].

Table 1. The results of studies on the impact of work productivity

Color	The impact of work productivity according to studies	
	Low- screeners	High-screeners
RED	greater negative mood aspects (comparing with blue green or white office), more disturbing for low screeners than high screeners who could more easily ignore the starkness of that office. Low screeners are less productive in the red office than in the blue-green office [2].	workers in the red office reported higher negative mood characteristics compared with workers in the blue-green office. On the other hand, high screeners are more productive in the red office than in the blue-green office [2].
WHITE	negative mood aspects in the white office (lacking contrast) are disturbing for low screen workers [2]. Workers made more errors when they worked in the white room comparing red and aqua [9].	high screeners could more easily ignore the starkness of the white colored office [2]. Workers made more errors when they worked in the white room comparing red and aqua [9].
PINK	perhaps the most infamous study on how color can have a positive effect on <u>one's psyche</u> is the <u>pink prison experiment</u> from the late 1970s (Schauss, 1979) [2]. There's a reason some sports teams paint the opposing team's locker room pink – it's known for draining people of their energy [8].	

Table 2. Description of color impact

Color	Positive features	Negative features	Color description and the impact of colors on work productivity in offices
RED affects physically rather than mentally	physical courage, strength, warmth, energy, basic survival, stimulation, excitement [10]	it can be perceived as <u>demanding and aggressive</u> , strain, defiance [10]	being the longest wavelength, red is a powerful color. Its effect is physical; it stimulates us and raises the pulse rate, giving the impression that <u>time is passing faster than it is</u> . It is <u>stimulating and lively, very friendly</u> [10]. <u>Red reduces analytical thinking</u> [8]. <u>Red For The Detail-Oriented</u> . A study by the University of British Columbia found that red <u>can help increase performance in employees who have detail-oriented assignments</u> [9]. Color would make you more <u>productive</u> than either blue or yellow, because it stimulates you physically [5].

Table 2. Continued

Color	Positive features	Negative features	Color description and the impact of colors on work productivity in offices
WHITE It does not increase worker's productivity	hygiene, sterility, clarity, purity, cleanness, simplicity, sophistication, efficiency [10]	sterility, coldness, barriers, unfriendliness, elitism [10]	<u>white is total reflection</u> . In effect, it reflects the full force of the <u>spectrum into our eyes</u> . Thus it also creates barriers, but differently from black, and <u>it is often a strain to look at</u> . <u>The negative effect of white on warm colors is to make them look and feel garish [10]</u> . <u>White May Lead to Boredom because of the lack of stimulation [8]</u> .
BLUE	intellectual positive: intelligence, communication, trust, efficiency, duty, logic, coolness, reflection, calm [10]	blue is the world's favorite color. it can be <u>perceived as cold, unemotional and unfriendly</u> [10]	<u>it is the color of clear communication [10]</u> . <u>Blue is calming</u> . It promotes communication, trust, and efficiency. It also helps people with creativity by opening the <u>mind to new ideas</u> . <u>In the workplace, blue would be a good color in a room that is used for brainstorming, suggests the UBC study [9]</u> . <u>"If you have a blue office, you need to put a bit of orange in there to introduce a bit of balance, a bit of emotion, so that you're not a cold bureaucrat [5]."</u>
YELLOW	optimism, confidence, extraversion, emotional strength, friendliness, creativity [10]	too much of it can cause self-esteem to plummet, giving rise to fear and anxiety [10]	the yellow wavelength is relatively long and <u>essentially stimulating</u> . In this case the <u>stimulus is emotional</u> , therefore yellow is the strongest color, psychologically. The right yellow will <u>lift our spirits</u> and our self-esteem; it is the <u>color of confidence and optimism [10]</u> . <u>Don't paint the conference rooms in yellow [9]</u> .
GREEN balanced, calming, and reassuring [5]	green for inspiring innovation [9]	it can indicate stagnation and, incorrectly used, will be perceived as being too bland [10]	<u>being in the centre of the spectrum</u> , it is the color of balance – a more important concept than many people realize [10]. Green Sparks Creativity. So if you want your employees to <u>be more productive, consider painting work areas green [8]</u> . Green would be a good choice in an office where innovation is a key component [9]. The color <u>makes you the most productive</u> . However it can be very stagnant and inert, so an "action man, who loves red, is going to find green quite a strain [5]."
VIOLET	awareness, , vision, luxury, authenticity, truth [10]	introversion, decadence, suppression, inferiority [10]	<u>the shortest wavelength is violet</u> , often described as purple. It is highly introverted and encourages deep contemplation, or meditation. It has associations with royalty and usually communicates the finest possible quality [10].
ORANGE	it focuses our minds on issues of physical comfort [10]	negatively, it might focus on the exact opposite – deprivation [10]	it is a <u>combination of the physical and the emotional</u> . Too much orange suggests frivolity and a lack of serious intellectual values [10]. <u>Orange is Associated with Good Value [8]</u> . This is particularly likely when warm orange is used with black [10].

Table 2 Continued

Color	Positive features	Negative features	Color description and the impact of colors on work productivity in offices
PINK	pink is a powerful color, psychologically [10]	too much pink is physically draining [10]	it soothes, rather than stimulates. It represents the feminine principle, and survival of the species; it is nurturing and physically soothing [10]. <u>Pink calms people down</u> for about 30 minutes. <u>This could be a great color for lawyers</u> who are conducting mediation or a board room where conversations may get heated [8].
GREY color does not increase worker's productivity	psychological neutrality [10]	lack of confidence, dampness, depression, hibernation, lack of energy [10]	grey has a dampening effect on other colors used with it [10]. Avoid Gray To Keep Morale Up. While <u>gray is psychologically neutral</u> , the color also <u>lacks energy</u> . Heavy use of gray can foster a lack of confidence and even depression. This color should be used in small amounts in an office and offset by a brighter color, such as red or yellow [9].
BLACK	sophistication, glamour, emotional safety, efficiency, substance [10]	oppression, coldness, menace, heaviness [10]	it creates protective barriers, as it absorbs all the energy coming towards you, and it enshrouds the personality. It works particularly well with white. It communicates sophistication and uncompromising excellence. It creates a perception of weight and seriousness [10].
BROWN	seriousness, warmth, earthiness, reliability [10]	lack of humor, sophistication [10]	brown has associations with the earth and the natural world. It is a solid, reliable color and most people find it quietly [10].

RESULTS AND DISCUSSION

The survey involved 50 office employees from all Latvia, both big and small enterprises; they daily tasks are clerical work, management and planning. Survey about color in workplaces in Latvia showed that employees spent in closed private office more than 7 working hours per day that makes 62%. And 46% respondents think that the wall color in offices has the influence of them, only 16% think that color does not impact working productivity at all. Thus, 40% of office employees wish to change the color of walls [11].

38% prefer white color of walls, because they want to get more simple and easier place, but white color promotes mistakes in working tasks, so it should be used only as background [2].

28% office employees want green color that is inspired and balanced, as well as respondents offer different green colors, e.g. peppermint green, salad green, olive green.

18% - want grey colors in workplace. This color is also good as a background combination with other color, because this is emotionally neutral color, close to white [9]. Result of the research and answers to the questions showed that in major offices the appropriate color choice is not done. In offices are used white and grey colors, but

these colors do not promote the work productivity, as well as create the conditions for work mistakes [2].

The results of survey showed that 0% respondents chose blue, black or red color of walls, this can be explained with huge intensity and coolness of these colors [10].

To determine in which color to paint your working place, firstly you have to decide which main color (or combination of colors) will work the best in your situation by deciding whether you want to affect your mind, emotions, body, or balance [5].

Because colors have different influence on employees, thus, colors can affect state of health, behavior and working productivity of some people and they know that, but there are employees which are not affected by colors or the there is minimum affection – inspire of this the results of tests show that in emotionally neutral, white color space both groups of employees make more mistakes while working in red, green or blue workplace [2]. So there is an easy solution – to change in other color one of the wall in office, taking into account work specific and wishful effect.

You should take into account that each color has positive and negative influence on working productivity [5]. For example, there were analyzed the impact of red color on psychological and physical influence of employees, because this is intensive, quickly noticeable and aggressive color. The results indicate that the red color has impact on employees' psychological condition and it powerfully stimulates analytical thinking, concentration on specific task, thus, it is necessary to choose the color in minor proportions or with less intensity[2]. Similarly to green color, it stimulates creative thinking, but in big amount, on contrary, creates passivity that decreases productivity. In conference halls yellow color, that is a color of optimism, will not promote important decision making. Orange color decreases expression of acquired knowledge [8].

Thus, it is possible to make the conclusion that productivity can be increased without tire, depression, relaxation that comes from powerful long term influence of specific color in big amount and intensity, but by choosing colors and their intensity as much as it is necessary to support emotional rise, creativity and emotional balance.

CONCLUSIONS

According to the results of the research following conclusions were made:

Theoretical research conclusions:

- for low-screen are more appropriate places with harmonious and balanced colors, should avoid places without contrast and intensive colors, because they raise tiredness and bad mood, thus, working productivity decreases;
- higher productivity of high-screen employees is expected in more bright, expressive places, as well as they will not lose productivity as low-screen. Too relaxing colors can limit to reach high level of productivity if we talk about high-screen;
- in offices with combined colors it is observed higher productivity;
- during combining colors it is necessary to keep up their proportions in space and to choose dominate and background color;
- it is necessary to choose color combinations by choosing the appropriate colors, without conflict between them to get the effect of both colors, that is possible by change of color intensity ;

- color with low saturation calms rather than, e.g. strong bright or dark that stimulates.

Findings of Empirical research:

- choosing colors for the offices is necessary take into account workers' impressibility to the colors;
- colors perception of the employees has to be analyzed from the various factors of productivity (bad mood, fatigue, burning out, fluster, etc.);
- the neutral color is necessary to combine with color which is more intensive therefore we restrict the error's rate in the work process;
- choosing combinations of colors for the working places is important do not combine two equally intense colors, thereby these colors will influence the worker equally strong affecting his feeling;
- purposefully choose colors or combinations of colors in order to reach the required result or the certain task;
- questionnaires results show that the employees prefer to neutral rather than pronounced colors they also try to avoid strong and bright colors.

REFERENCES

- [1] C. Adams. "The Use of Color in Ergonomics", About.com. [Online]. Available: http://ergonomics.about.com/od/ergonomicbasics/a/The_Use_Of_Color_In_Ergonomics.htm. [Accessed 12 12 2015].
- [2] N. Kwaliek. "Color in Office Environments", informedesign.umn.edu. [Online]. Available: http://www.informedesign.org/_news/jan_v05r-p.pdf. [Accessed 1 2 2016].
- [3] P. Emanoil. "Ergonomics Then and Now". [Online]. Available: <https://www.questia.com/library/journal/1G1-65142123/ergonomics-then-and-now>. [Accessed 5 1 2016].
- [4] W. Laurence. "Office Ergonomics: An Investment in People," ABA Journal, vol. Vol. 71, no. No. 9, pp. pp. 64-67, Sep. 1985, Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/20758336>.
- [5] C. Bailey. "A life of productivity". [Online]. Available: <http://alifeofproductivity.com/angela-wright-interview/> [Accessed 21 1 2016].
- [6] K. Holden, J. Butler W. Lidwell. "Universal Principles of Design." Rockport Publishers, Inc., pp. 48, 2010.
- [7] M.A. Maier A.J. Elliot, "Color and Psychological Functioning", 165th ed. 10: Sage Publications, Inc. on behalf of Association for Psychological Science, 2007, Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/20183210>.
- [8] S. Augustin. (2014, Feb.) Forbes. [Online]. Available: <http://www.forbes.com/sites/amymorin/2014/02/04/how-to-use-color-psychology-to-give-your-business-an-edge/#33439bad2e28>. [Accessed 24 12 2015].
- [9] S. Voza. "Why you should never paint office walls white". [Online]. Available: <http://www.fastcompany.com/3044601/work-smart/why-you-should-never-paint-office-walls-white>. [Accessed 9 1 2016].
- [10] A. Wright. "Color Affects System". Colour & Imaging Institute (Derby, UK). [Online]. Available: <http://micco.se/wp-content/uploads/2010/05/Micco-Groenholm-on-Color-Affects-System.pdf>. [Accessed 1 2 2016].
- [11] H. Pulliam. "Color". Special Issue Medieval Art History Today - Critical Terms, 33rd ed. Trustees of Princeton University: Board of Trustees of Western Michigan University, 2012, Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/23924264>. [Accessed 1 3 2016].

Ahju suitsugaasis sisalduva hapniku mõõtmise autotööstuses kasutatava hapnikuanduriga

Measuring oxygen content in oven flue gas with oxygen sensor used in automotive applications

I. Hade, M. Hovi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. The aim of the research was to determine the suitability of an oxygen sensor (from automotive applications) to measure oxygen in flue gas generated by biomass combustion in oven. For that, comparison measurement with laboratory flue gas analyser was carried out. Fire was made in laboratory stove using wood logs. For adequate data, sensors were positioned alongside in smoke flue to cut off the possible influence of excess air sucked in through cracks and slots. Data measured with two different devices was almost identical, having some disparity in higher excess air ratio figures. Overall is oxygen sensor from automotive applications a good alternative for expensive flue gas analysers to determine the quality of biomass combustion.

Key words: Oxygen sensor, combustion, lambda, flue gas.

SISSEJUHATUS

Seoses pidevalt karmistuvate heitgaasinormide ja kallineva kütusega, oleme sunnitud vähendama ahjude kütmisel tekkivat saastet ja parandama nende kasutegurit. Üheks mooduseks, kuidas neid näitajaid saavutada, on paigaldada kütteseadmetele automaatika, mis reguleerib põlemisprotsessi. Uurides ühte Eestis ahjudele ja pliitidele paigaldatavat Poola tootja Tatarek põlemisautomaatikat selgus, et lisaks seadme soetamisele ja paigaldamisele, peab selle ka heade tulemuste saavutamiseks vastavalt oludele oskuslikult seadistama. Hea seadistuse eelduseks on suitsugaasi analüüs, mida olenevalt olukorrast tuleb sooritada rohkem kui üks kord. Kuna suitsugaasi analüsaatorid on küllaltki kallid seadmed, on antud töös uuritud võimalust kasutada biomassi põletamisel tekkivas suitsugaasis leiduva hapniku osamahu määramisel autotööstuses kasutatavat hapnikuandurit. Nimelt mõõtes suitsugaasis oleva hapniku osamahtu ($O_2\%$), saame arvutada liigõhuteguri (λ) [1]:

$$\lambda = \frac{21}{21 - O_2\%} \quad (1)$$

Liigõhutegur (λ) on praktilise ja teoreetiliselt põlemiseks vajamineva õhuhulga suhe. Praktikas ei pääse põleva süsiniku juurde aga piisavalt õhku ja tegemist on mittetäieliku põlemisega. Sellest tulenevalt on saaduseks süsinikoksiid (vingugaas) ja madalamast leegi temperatuurist tingituna ka väiksem kasutegur. Seoses sellega juhitakse põlemisprotsessi alati rohkem hapnikku kui teoreetiliselt vajalik. Liigõhutegur sõltub kütuse liigist ja põlemise tingimustest. Tahkekütustel on see suurem, gaas- ja vedelkütuste puhul väiksem [2]. Praktikas on biomassil töötavate

Nagu mainitud, sõltuvad liigõhutegurist põlemisel tekkiva heitgaasi peamised komponendid. Mürgiste komponentide, nagu vingugaas ja lämmastikoksiidide sõltuvus liigõhutegurist, on esitatud joonisel 1 [4].

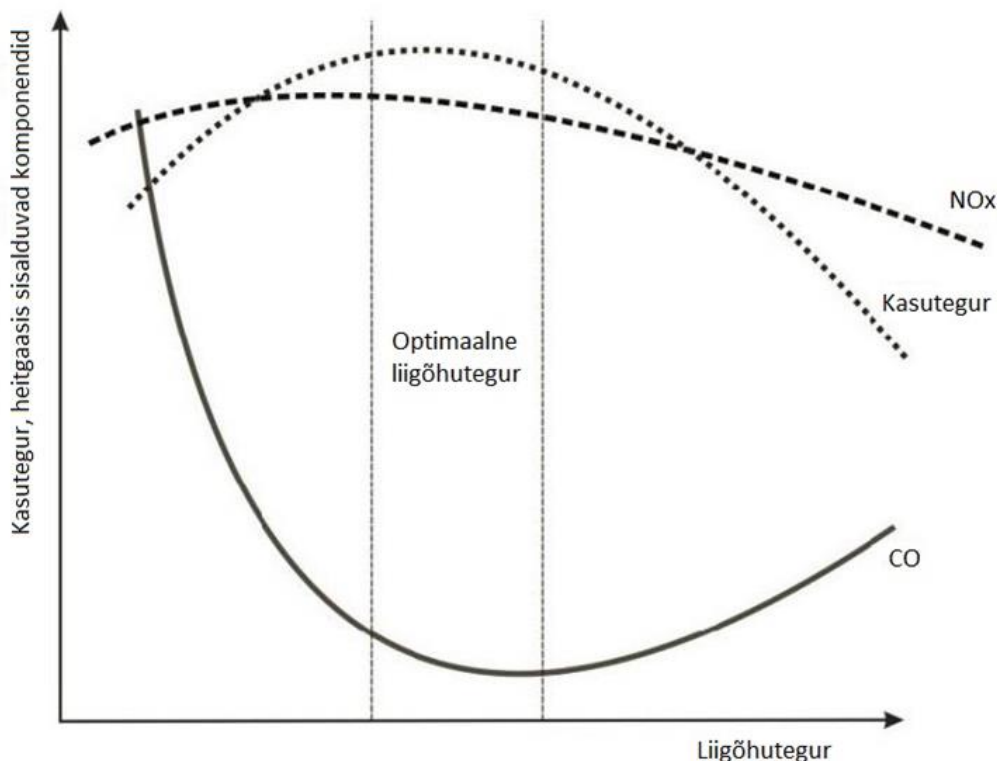


Figure 1. Efficiency, CO and NOx dependency on excess air ratio. Source: [4]

Seega, tuginedes optimaalsele ja mõõdetud tegelikule liigõhutegurile, saame parima põlemisautomaatika seadistuse. Nagu jooniselt 1 näha, on optimaalse liigõhuteguri korral kasutegur suurim ja vingugaasi sisaldus suitsugaasis madal.

MATERIAL JA METOODIKA

Selgitamaks välja, kas autotööstuses kasutatava hapnikuanduriga on võimalik mõõta ka ahjus halupuude põletamisel tekkivat suitsugaasi, on teostatud proovikütmine Eesti Maaülikooli katlalaboris asuva pliidiiga. Pliidi kasutamine ahju asemel rolli ei mängi, sest kütus ja põlemistingimused on samad. Antud uurimustöö metoodika seisneb võrdlusmõõtmise teostamises ja selle tulemuste analüüsis. Võrdluseks kasutatakse heitgaasianalüsaatori Testo 350 mõõtetulemusi.

Katses uuritav hapnikuandur (Bosch LSU 4.9) on osa tootja Innovate mõõtekomplektist mtX-1 (joonis 2). Tegemist on lineaarse ehk laiaribalise tsirkooniumanduriga. Komplekti kuulub lisaks andurile ka kontrolleri, mis juhib anduri

tööd ja võimaldab vastava tarkvaraga salvestada mõõtmistulemusi arvutisse. Mõõtesagedus katses kasutatud mtX-1 komplektil on 12 korda sekundis. Heitgaasianalüsaatori mõõtesageduseks valiti aga katse sooritamisel 1 kord 10 sekundi jooksul. Bosch LSU 4.9 mõõtetäpsus on näiteks liigõhuteguri $\lambda = 1$ puhul $\pm 0,007$ ja $\lambda = 1,7$ korral $\pm 0,05$ [5]. Kõrgematel väärtustel pole tootja andmeid esitanud, mis pole ka antud olukorras tähtis, kuna meid huvitavad liigõhuteguri madalamad väärtused. Heitgaasianalüsaatori Testo 350 mõõtetäpsus on kasutusjuhendis $\pm 0,02 \text{ O}_2\%$ terves mõõteulatuses [6]. Vaatamata erinevatele ühikutele on seadmete mõõtetäpsused hinnanguliselt siiski sarnased



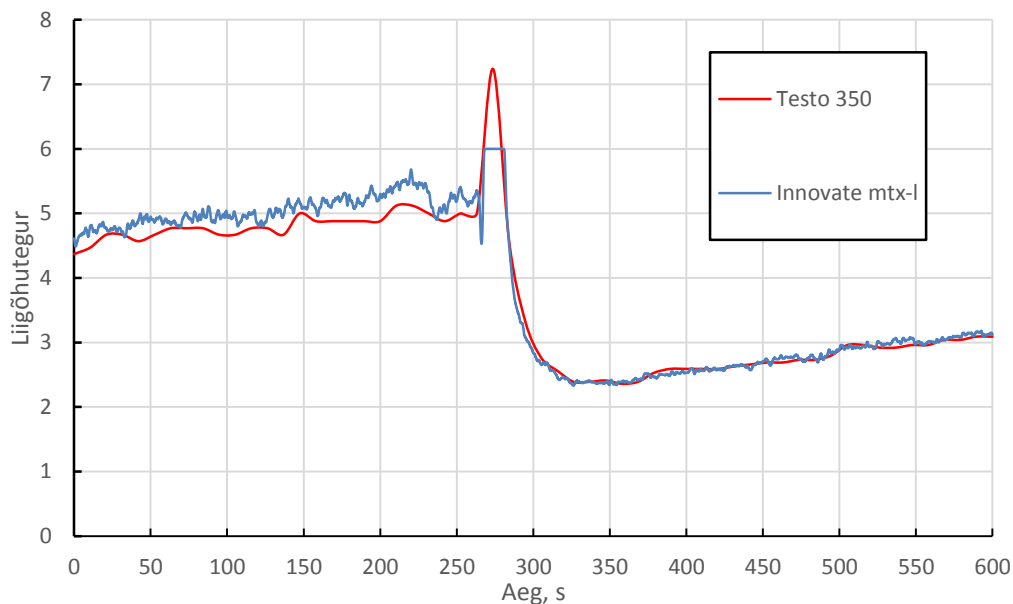
Joonis 2. Mõõtekomplekt Innovate mtX-1. (foto I.Hade)

Figure 2. Measuring equipment Innovate mtX-1.

Enne mõõtmiste läbiviimist on oluline, et andurid oleksid kalibreeritud. Heitgaasianalüsaator Testo 350 on seadistatud selliselt, et enne igat mõõtmist teeb seade selle automaatselt. Uuritav hapnikuandur kalibreeriti vastavalt manuaalile enne esmakordset kasutamist. Võimalikult täpsete tulemuste saamiseks paigaldati proovikütisel mõlemad hapnikuandurid suitsulõõris samale kaugusele küttekoldest, et vältida mõõtmistulemuste erinevusi, mida võib põhjustada lõõristiku ebatihedus. Olulisimaks antud katse sooritamise juures oligi tagada mõlema hapnikuanduri mõõtepunktis samasuguse hapnikusisaldusega suitsugaas. See, millist liiki ning kui suure niiskusesisaldusega puitu põlemiseks kasutati, antud katse puhul oluline ei olnud.

Joonisel 3 on esitatud proovikütisest 600 sekundiline lõik, mille jooksul lisati küttekoldele ka täiendav kogus küttepuid. Küttepuude lisamisega saavutati

liigõhutehuri muutumine, mis võimaldab hinnata mõõtetulemuste kokkulangevust mõõteulatuse lõikes.



Joonis 3. Võrdlusmõõtmise tulemused.

Figure 3. The results of comparison measurement.

Mtx-I komplekti tarkvara salvestab liigõhutehuri väärtusi kuni 6-ni (17,5 O₂%), mis on nähtav ka joonisel 3 esitatud graafikul ajavahemikus 250-300s. Salvestusvahemik on tõenäoliselt piiratud tänu mõõtetäpsusele, mis langeb, lähenedes maksimaalsele hapniku osamahule 21%.

TULEMUSED JA ARUTELU

Uuringu tulemusena selgus, et autotööstusest pärineva laiaribalise hapnikuanduriga on võimalik mõõta hapniku osamahtu biomassi põletamisel tekkivas suitsugaasis. Metoodika sobivust kinnitab see, et võrdlusmõõtmine Testo 350-ga andis sarnaseid tulemusi. Mõõtetulemustes esines erinevusi kõrgematel liigõhutehuri väärtustel, mis ei ole olulised, sest kütteseadmete optimeerimise seisukohalt huvitavad meid madalamad, enamasti <2 liigõhutegurid. Tuginedes seadmete mõõtetäpsustele, ei saa üheselt kinnitada, kumb võrdlusmõõtmises osalenud seade andis tõe lähedasemaid mõõtetulemusi. Seega, kui meid huvitab suitsugaasis sisalduva hapniku osamaht ja selle kaudu hinnatav heitgaasi teiste erinevate komponentide sisaldus, saame kasutada autotööstusest pärinevaid laiaribalisi hapnikuandureid, mis on kordades odavamad kui selleks mõeldud suitsugaasianalüsaatorid.

JÄRELDUSED

Mõõtetulemustele tuginedes on uuringu eesmärk täidetud. Täiendavalt võiks uurida autotööstusest pärineva hapnikuanduri eluiga biomassi põletamisel tekkiva

suitsugaasi hapniku osamahu mõõtmisel. Autori senised katsetused pliidi ja ahju kütmisel halupuudega (umbes 20h) koos hapniku osamahu mõõtmisega, ei ole andurile siiski märgatavat negatiivset mõju avaldanud.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. Pitel, J. Mizak, “Approximation of CO/lambda biomass combustion dependence by artificial intelligence techniques, “ [Online]. Available: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=e41d4656-e625-4dde-8702-f746508c30a8%40sessionmgr111&vid=9&hid=116> [Accessed 29 03 2016].
- [2] A. Veski, “Ahjud, pliidad, kaminad,” 212lk, 2005.
- [3] T. Nussbaumer, “Combustion and CO-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction, “[Online]. Available: http://www.verenum.ch/Publikationen/comb%20_cocomb.pdf [Accessed 29 03 2016].
- [4] J. Hrdlička, B. Šulc, S. Vrána, V. Plaček, “Ecological Aspects of Small-Scale Biomass Combustion Control, “ *Proceedings of International Conference on Development, Energy, Environment, Economics, 2010*.
- [5] “Lambda sensor LSU 4.9, “ [Online]. Available: http://www.bosch-motorsport.de/media/catalog_resources/Lambda_Sensor_LSU_49_Datasheet_51_en_2779147659pdf.pdf [Accessed 29 03 2016].
- [6] “Testo 350 introduction manual, “ [Online]. Available: <http://www.testo350.com/downloads/350/literature-manuals/2-%20testo%20350%20Instruction%20Manual.pdf> [Accessed 29 03 2016].

Infrapuna-vaakumkuivati mudel soojustehniliste protsesside uurimiseks

Modelling of infrared-vacuum drying

L. Laur¹, M. Hovi¹, K. Hovi¹, U. Bleive²

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

²Eesti Maaülikool, Polli aiandusuuringute keskus

Abstract. The infrared-vacuum drying of apple slices was performed in a laboratory scale vacuum dryer, which was developed for this purpose. Apple slices with an initial moisture content of 87% were dried at various conditions, at near room temperature at atmospheric pressure 101,325 kPa, at near room temperature at pressure 53 kPa, with infrared radiation at power level of 170 W at atmospheric pressure 101,325 kPa and with infrared radiation at power level of 170 W at pressure 53 kPa. The results revealed that using combined infrared-vacuum treatment for drying apple slices has a number of advantages. Apples can be dried approximately 36 times faster than drying at near room temperature and 1,5 times faster than drying with infrared radiation at power 170 W at pressure 101,325 kPa. Combined infrared-vacuum drying shows good potential of producing a crispy apple chips.

Key words: infrared-vacuum drying, drying kinetics, drying apple, infrared radiation, temperature distribution.

SISSEJUHATUS

Taimsete materjalide kuivatamine on oluline viis põllumajandussaaduste säilitamiseks. Konkreetse materjali jaoks sobilikel tingimustel kuivatades säilivad materjalis sisalduvad kasulikud ained [1]. Kuivatamise eesmärgiks on eemaldada materjalist vesi sellise tasemeni, et seal peatuks mikroorganismide elutegevus ja seeläbi pikeneks säilivusaeg [2]. Kõige lihtsam viis puuviljade kuivatamiseks on kuivatada toatemperatuuril. See võtab aga kaua aega ja suuremates kogustes oleks selline kuivatusviis mõeldamatu.

Sügisel koristusperioodil tuuakse taimsete saaduste töötlemiskeskustesse suurtes kogustes küpsed puu- ja juurvilju. Kiire tooraine töötlemine valmistoodanguks on hädavajalik taimsete materjalide kiire riknemise tõttu. Üheks puu- ja juurviljade efektiivseks kuivatamisviisiks on infrapuna-vaakumkuivatus. Rakendades vaakumit hakkab vesi madalamatel temperatuuridel intensiivsemalt aurustuma, võimaldades kuivatada madalamatel temperatuuridel säilitades nii rohkem bioaktiivseid ühendeid. Infrapunakiirguse rakendamisel on eeliseks konvektiivse kuivatamise ees see, et infrapunakiirgus soojendab materjali mitte ümbritsevat õhku [3]. Kuna konvektiivsel kuivatamisel tekivad suured energiakaod ja kõrgete temperatuuride tõttu tekivad soovimatud muutused kuivatatavas materjalis, siis võiks eelistada puu- ja juurviljade kuivatamisel infrapuna-vaakumkuivatamist.

Antud artiklis on selgitatud infrapuna-vaakum kuivatamise eeliseid katselise seadme abil.

MATERIAL JA METOODIKA

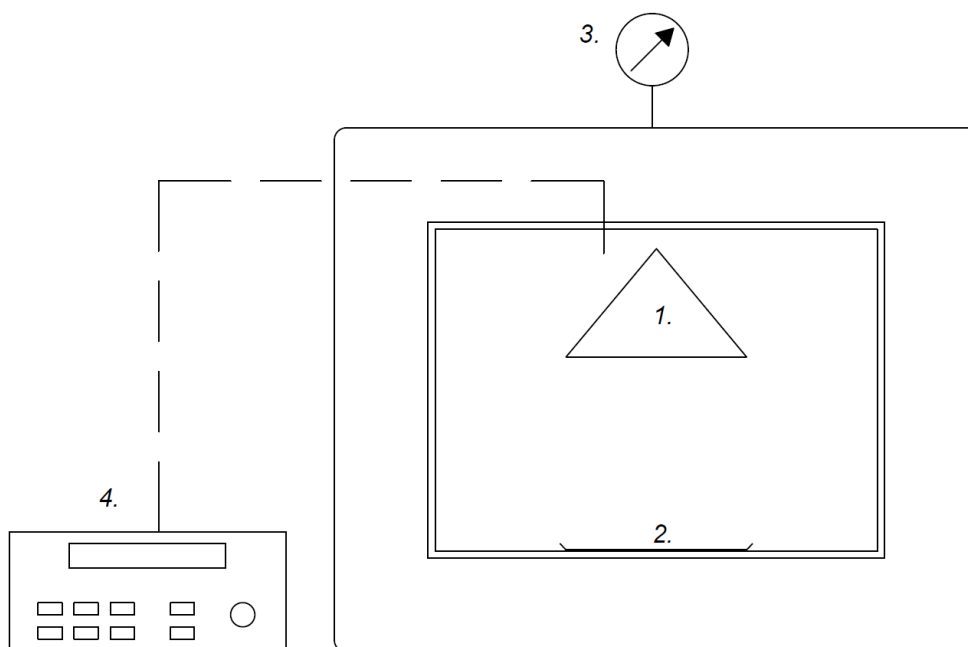
Uurimustöös on käsitletud katsetusmetoodikat, mille käigus kasutati peamise katsevahendina infrapuna-vaakumkuivati mudelit. Võrdlusmomendi tekkimiseks on katseline kuivatamine läbi viidud ka toatemperatuuril atmosfäärirõhul 101,325 kPa, toatemperatuuril rõhul 53 kPa ja infrapuna kiirguri võimsusel 170 W atmosfäärirõhul 101,325 kPa. Infrapuna-vaakumkuivati kuivatuskambri mõõtmed

Tabel 1. Infrapuna-vaakumkuivati kuivatuskambri mõõtmed

Table 1. Infrared-vacuum chamber dimensions

Pikkus, m	Laius, m	Kõrgus, m	Seina pindala, m ²	Ruumala, m ³
0,48	0,37	0,27	0,71	0,048

Kuna katsete tegemiseks tööstusliku infrapuna-vaakumkuivatiga oleks vaja rakendada palju energiat ja aega, siis on tehtud katsetused väiksemas katselises mudelis. Katsetuste eesmärgiks oli leida, kuidas muutuvad kuivatusprotsessi temperatuurid ja kui palju kulub aega materjali kuivamiseks. Kuivati mudeli skeem on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Infrapuna-vaakumkuivati skeem: 1 – infrapunakiirguri; 2 – kandik millele asetatakse kuivatatav materjal; 3 – vaakummeeter; 4 – andmehõivesead

Figure 1. Schematic diagram of the infrared-vacuum dryer: 1 – infrared heater; 2 – tray for material; 3 – vacuummeter; 4 – data logger switch unit

Kuivati koosneb 6 mm paksuste seintega alumiiniumist kuivatuskambrist. Väliskeskkonnast isoleerib kuivatuskambrit 1 mm paksune lehtteras ja nende vaheline 75 mm õhuvahe. Infrapuna kiirguri kõrgus kandikust on 160 mm. Kuivatatava materjali aluse mõõtmed on 225 x 320 mm.

Kuivatusprotsessi käigus mõõdeti temperatuure K tüüpi termopaaridega. Andmehõiveseadmega Agilent 34972A salvestati protsessi temperatuure kolm korda minutis. Kuivatusprotsessi temperatuuridena on mõõdetud:

1. Temperatuur kandiku pinnal, infrapuna kiirgusväljas;
2. Õhu temperatuur kuivatis;
3. Kuivati tagumise seina temperatuur seina keskel;
4. Materjali temperatuur kandiku keskel;
5. Materjali temperatuur kandiku ääres;
6. Kuivati välispinna temperatuur ülemisel pinnal;
7. Kuivati välispinna temperatuur küljel;
8. Kiirguri korpuse temperatuur;
9. Ruumi temperatuur;
10. Klaasi temperatuur.

Materjali temperatuuri mõõtmiseks paigaldati andur õunaviilu sisse. Kuivatatava materjalina kasutati Polli Aiandusuuringute keskusest saadud Alesja sordi õunu. Õunte niiskussisaldus on leitud valemiga [4]:

$$W = \frac{m_n}{m} \cdot 100, \quad (1)$$

kus W on tahke materjali niiskus niiske materjali massi suhtes, %;
 m_n – tahke materjali mass, kg;
 m – niiske materjali mass, kg.

Õunte algniiskuseks kogumassi suhtes määrati 87% kuivatades õunaviilud konvektiivses kuivatis temperatuuril üle 100°C 24 h jooksul [5].

TULEMUSED JA ARUTELU

1. Katseseeria – kuivatamine toatemperatuuril atmosfäärirõhul 101,325 kPa

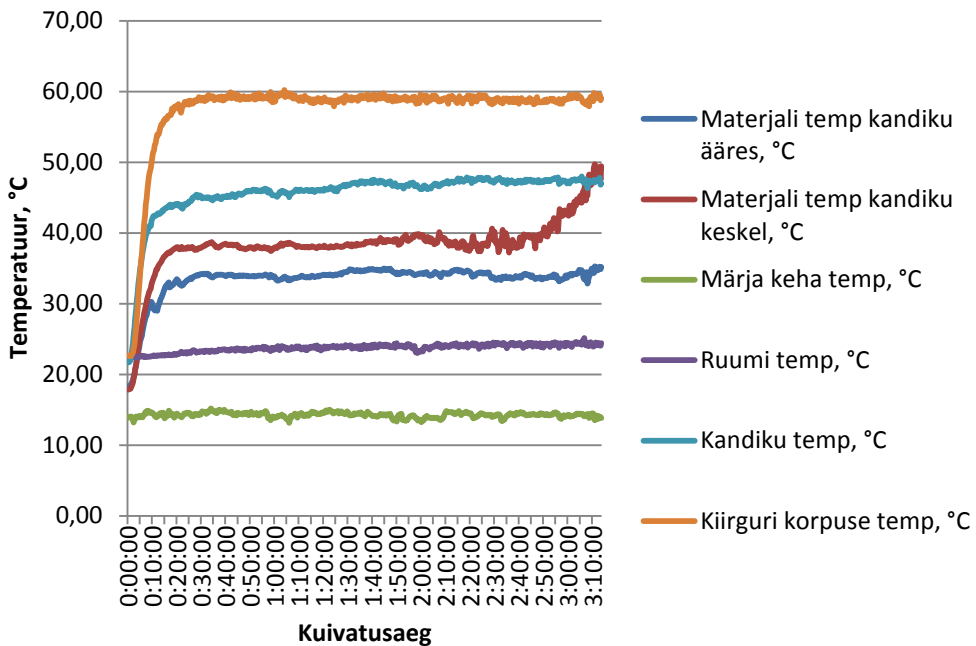
Õunad viilutati 2...3 mm paksusteks viiludeks ning asetati kogumassiga 98,6 g aknalauale kuivama. Kuivamisprotsess kestis kolm päeva ja selle käigus kuivas materjal 11,8% niiskusesisalduseni. Katse lõpuks oli materjali kaal 15,87 g, mis tähendab, et eraldunud oli 82,73 g vett. Selline kuivatusviis ei ole otstarbekas kuna kuivamine toimub suhteliselt pika aja jooksul ja kuivamiskiirus ning materjali lõplik niiskussprotsent sõltub õhurõhust, ruumi temperatuurist ja ruumi õhu niiskusest. Seega ei pruugi kuivatamise lõppedes saada soovitud niiskussisaldusega produkti.

2. Katseseeria – kuivatamine atmosfäärirõhul 101,325 kPa infrapuna kiirguri võimsusel 170W

Tõstes materjali temperatuuri infrapuna kiirgusega aurustatakse materjalis leiduv liigvesi suurema kiirusega kui kuivatades toatemperatuuril [4]. Kuivamiskiirus

ei sõltu ainult kiirgussoojuslevi intensiivsusest, vaid ka niiskuse edasikandumisest materjali süvakihtidest pinnale [6].

Õunad viilutati 2...3 mm paksusteks viiludeks ning asetati massiga 64,57 g kandikule. Kuivatusprotsess kestis 3 tundi ja 13 minutit ning selle käigus eraldus 47,65 g vett. Katse lõpuks oli materjali kaal 16,92 g ja niiskusesisaldus 13,1%. Protsessi keskmiseks kuivamiskiiruseks saadi 15,22 g/h. Joonisel 2 on näha kuivatusprotsessi temperatuurid.



Joonis 2. Infrapuna kiirguriga kuivatamise protsessi temperatuurid
Figure 2. Temperatures of infrared drying

Kuivatusprotsessi temperatuuridest on näha, et esimese 20 minuti jooksul toimus materjali soojenemine kuivamise püsitemperatuurini 30...40 °C. Pärast 2 h ja 50 min kuivamist hakkas materjali temperatuur tõusma, millest võib järeldada, et materjal hakkas kuivaks saama. Pärast 3 h ja 10 min kuivatamist tõusis materjali temperatuur võrdseks kandiku pinnal mõõdetud temperatuuriga, millest võib järeldada, et materjal saavutas tasakaaluniiskuse.

3. Katseseeria – kuivatamine vaakumkambris rõhul 53 kPa

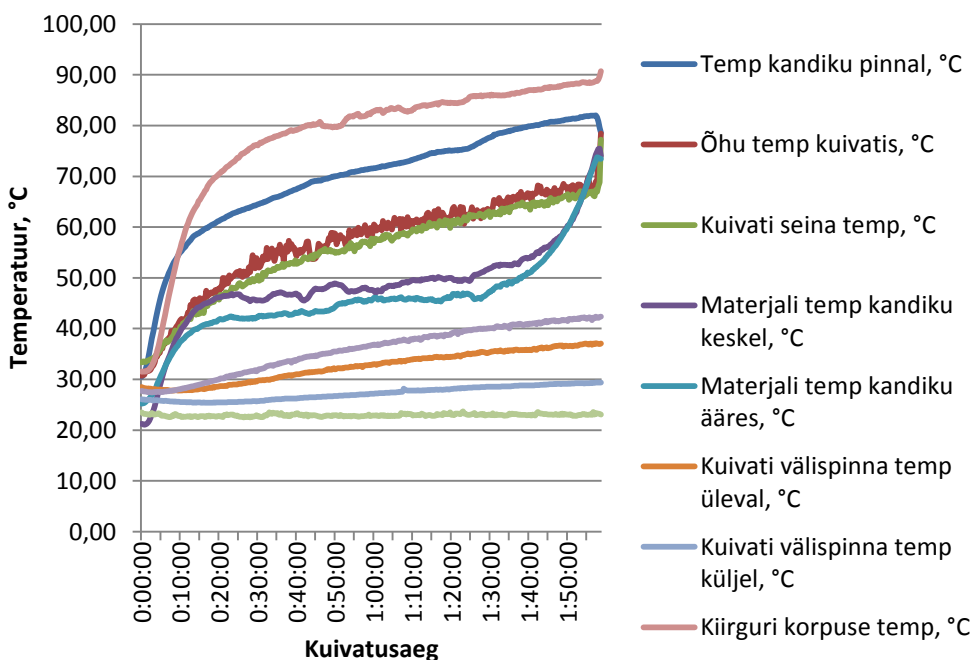
Õunad viilutati 2...3 mm paksusteks viiludeks ning asetati kandikule. Materjali algaaluks fikseeriti 62,01 grammi. Kuivatusprotsess kestis 5 tundi ja 45 minutit rõhul 53 kPa. Materjal ei kuivanud katse käigus tasakaaluniiskuseni. Katse käigus eraldus materjalist 21,6 grammi niiskust, keskmiseks kuivamiskiiruseks saadi 3,96 g/h. Kuivatades toatemperatuuril õhurõhul 101,325 kPa saadi 18 tunni keskmiseks kuivamiskiiruseks 3,7 g/h. Seega võib öelda, et ainult rõhu vähendamine kuivamiskiirust märgatavalt ei suurenda.

Väike kuivamiskiirus kuivatades vaakumkambris rõhul 53 kPa on tingitud sellest, et rõhu vähenemisel väheneb ka materjali (märja keha) temperatuur. Sellest tulenevalt kuivamiskiirus oluliselt ei muutu, olgugi et väiksemal õhurõhul peaks kuivamiskiirus suurenema.

Selleks, et kuivamiskiirus märgatavalt suureneks on vaja lisaks vaakumi tekitamisele ka materjali temperatuuri tõsta [4].

4. Katseseeria – kuivatamine infrapuna-vaakumkuivatis rõhul 53 kPa kiirguri võimsusel 170 W

Õunad viilutati 2...3 mm paksusteks viiludeks ning asetati kogumassiga 64,17 g kandikule. Kuivatusprotsess kestis kaks tundi ning selle käigus eraldus 54,95 g vett. Katse lõppedes saadi 9,22 g kuiva materjali. Protsessi keskmiseks kuivamiskiiruseks saadi 27,47 g/h. Joonisel 3 on näha kuivatusprotsessi temperatuurid.



Joonis 3. Infrapuna-vaakumkuivatamise protsessi temperatuurid
Figure 3. Temperatures of infrared-vacuum drying

Kuivatusprotsessi temperatuuridest on näha, et esimese 15 minuti jooksul toimus materjali soojenemine kuivamise püsitemperatuurini 40...55 °C, mis on väga sobilik õunte kuivatamiseks kuna üle 60°C kuivatades hakkab õuntes kasulike fenoolsete ühendite ja antioksüdantide sisaldus vähenema [2]. Pärast 1 h ja 50 min kuivamist hakkas materjali temperatuur järsult tõusma kuni ühtlustus lõpuks kandiku pinna temperatuuriga, millest võib järeldada, et materjal kuivas tasakaaluniiskuseeni.

JÄRELDUSED

Uurimistööst võib järeldada, et kõige lihtsam on taimseid saaduseid kuivatada toatemperatuuril normaalõhurõhul 101 kPa, kuid seda väikestes kogustes ja pika aja jooksul. Kuivamiskiiruse tõstmiseks ja soovitud niiskussisaldusega materjali saamiseks oleks soovitatav kuivatada taimseid saaduseid infrapuna-vaakumkuivatis.

Kuivatades infrapuna kiirgusega rõhul 53 kPa, lüheneb kuivamiseks kuluv aeg ligikaudu 36 korda kui võrrelda seda toatemperatuuril normaالرõhul kuivatamisega. Võrreldes infrapunakiirguriga normaالرõhul kuivatades lüheneb kuivamiseks kuluv aeg ligikaudu 1,5 korda.

Edasistes uuringutes võiks käsitleda kiirgurile rakendatava võimsuse ja kuivati õhurõhu sõltuvust, mille alusel oleks võimalik leida optimaalne kuivatusrežiim.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Hafezi, N. (2014). Evaluation of energy consumption of potato slices drying using vacuum-infrared method. – *IJABBR*. Vol. 2, Issue 10, pp. 2651-2658. [e-ajakiri] http://www.ijabbr.com/article_9990_1344.html (29.03.2016).
- [2] Wojdylo, A. (2007). Influence of temperature and time of apple drying on phenolic compounds content and their antioxidant activity. – *Polish journal of food and nutrition sciences*. Vol 57, No. 4, pp. 601-605.
- [3] Swasdisevi, T., *et al.* (2007). Optimization of a drying process using infrared-vacuum drying of Cavendish banana slices. – *Songklanakarin J. Sci. Technol.* Vol 29, Issue 3, pp. 809-816.
- [4] Treier, V., Hovi, M. (1997). Kuivatusõpetus: Õppe- ja käsiraamat põllusaaduste ja puidu kuivatajale. Tartu: EPMÜ. 64 lk.
- [5] ASAE. (1998). Moisture measurement: Unground grain and seeds. S362.2. <https://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=2&AID=24272&CID=s2000&T=2> (30.03.2016).
- [6] Poobus, A., Tiikma, T. (2002). Kuivatustehnika. Tallinn: TTÜ Soojustehnika instituut. 137 lk.

Kuumaveeboileri isolatsiooni soojusjuhtivusteguri leidmine ning termostaadi töörežiimide määramine

Energy efficiency of a heating system: thermal conductivity of a water heater insulation and determining working regimes of the thermostat

M.Vitsut, M.Märss

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. Energy storage plays an important role in balancing out the discrepancy between electrical energy production and consumption. Maximum self-consumption of the produced energy has a great importance for better usage of renewable energy resources and reduction of the payback period. Water heating is one of the ways to store energy and shift consumption to a period when local electricity is produced. The aim of the study is to create an optimized controlling system for a domestic water heater. Parameters and temperature measurements of afore-mentioned heater are described. Working regimes of the heater's thermostat are measured and energy loss calculations for a predictable model of water heater are analyzed. Results of the work serve as a foundation for creating an advanced control scheme for temperature regulation of a water heater.

Key words: Water heater, thermostat, energy losses, optimization.

SISSEJUHATUS

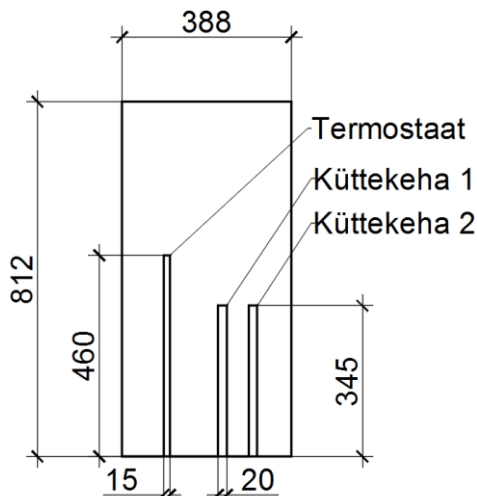
Taastuenergiaallika ressursi paremaks kasutamiseks ning tasuvusaja vähendamiseks on oluline toodetava elektri maksimaalne omatarve. Selle tingib toodetud elektrienergia müügi- ja võrgust lisaks tarbitava energia ostuhinna vahe. Üheks võtmetehnoloogiaks probleemi lahendamisel on energiasalvestite kasutamine. Vajadus selleks tuleneb ka suurest hooajalisest ning ööpäevasest tootlikkuse kõikumisest ning lisaks märkimisväärselt erinevusest tarbimisaegadega. [1]

Soojaveeboilerid on kasutusel enamikus kodumajapidamistes ning nende temperatuuri reguleerimine ning hoidmine toimub termostaadi abil. Uurimistöö eesmärgiks on Eesti Maaülikooli digitaalelektronikalaboris asuva 50-liitrise kuumaveeboileri termostaadi erinevate töörežiimide uurimine, energiakadude leidmine ning saadud andmeid kasutades töötada välja boileri optimaalne juhtimisviis. Tulemusi kasutatakse SciLabi simulatsiooni osana, kus arvestatakse ka PV-paneelidega toodetava elektrienergia ning eramu veetarbe mõõdetud tulemustega, et leida antud muutujaid arvestades energiasäästlikumtöörežiim, kui seda võimaldab termostaadiga reguleerimine.

MATERJAL JA METOODIKA

Uuritavaks kuumaveeboileriks on Electrolux EWH-SL, mahuga 50 liitrit ja võimsusega 800/1600 W. Võimsus on valitav vastavast lülitist juhtpaneelil ning selle abil lülitatakse sisse kas üks või kaks küttekeha. Tegu on vertikaalse paigaldusviisiga

boileriga, mille gabariitmõõtmed on toodud joonisel 1. Antud boileri termostaat on COTHERM 1100 GTLH0199-20 A, mis võimaldab maksimaalselt temperatuuri reguleerida kuni 70 kraadini [2]. Küttekehad paiknevad eraldi vertikaalsetes torudes. Boileri alumises osas on termostaadi temperatuurianduri jaoks toru, kuhu sisestati ka mõõtmiste teostamiseks vajalik temperatuuriandur.



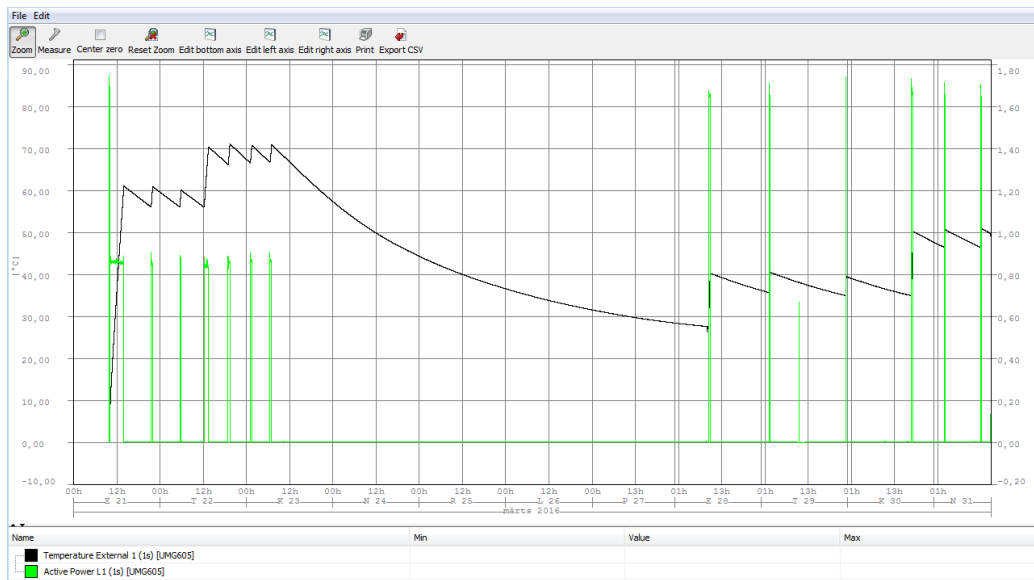
Joonis 1. Boileri põhimõõdud (mm)
Figure 1. Measurements of water heater in mm

Andmete kogumiseks kasutati mõõtekohvrit, mille üheks osaks on andmehõiveseadme Janitza UMG 605. Mõõdeti kahte parameetrit – küttekeha võimsust ja boileri temperatuuri. Pinget ning voolu mõõdeti boileri toiteahelast ning temperatuuriandur paigaldati koos termostaadi temperatuurianduriga selleks ette nähtud torusse (joonis 1). Mõõtmisi teostati kord sekundis ning katse erinevatel temperatuuridel vältas ühtekokku 258 tundi. Selle aja sees kasutati termostaadi viit erinevat väärtust selle tööpiirkonnast (joonis 2).



Joonis 2. Termostaadi erinevad seadepunktid
Figure 2. Different set points of thermostat

Mõõteandmete esmaseks töötlemiseks ning analüüsiks kasutati andmehõiveseadme tootja poolt pakutavat tarkvara GridVis 7, mille abil toimub ka UMG 605 seadistamine. Programmi graafilises aknas on võimalik kuvada mõõdetud tulemuste graafikuid (joonis 3) ning numbrilisi väärtuseid. Samuti on võimalik mõõteandmeid edasiseks töötlemiseks väljastada .csv failina. Ümbritseva ruumi temperatuur muutus jooksul väga väikses vahemikus ning seetõttu kasutati arvutustes selle keskvaartust 22,7 °C.



Joonis 3. Mõõtmiste kulg, temperatuur (must) ning sisendvõimsus (roheline)

Figure 3. Measurements on a time scale temperature (black) and input power (green)

Saadud tulemused lubavad hinnata termostaadi töötemperatuure ning reguleerimisvahemikku erinevate seadeväärtuste korral. Lisaks on võimalik leida arvutuslikult boileri maht ning soojuskaod.

TULEMUSED JA ARUTELU

Esimese kolme reguleerimisasendi korral kasutati kuumutamisel vaid üht küttekeha, mille nimivõimsus on 800 W. Mõõtetulemuste järgi saadi keskmiseks küttevõimsuseks 850 W. Kahe küttekeha kasutamisel saadi keskmiseks võimsuseks 1690 W. Soojuskadude järgi saadi arvutuslikuks boileri mahuks 56,8 liitrit. Vastavalt paagi välismõõtmetele saadi ruumalaks 57,6 liitrit, mis ei arvesta paagis paiknevate vee torudega. Boileris oleva vee mass leiti vastavalt valemile 1 [1].

$$Q = V_s \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1), \quad (1)$$

kus Q on salvesti täislaadimiseks vajalik soojushulk, J;
 V_s – salvestusmahuti maht, m^3 ;
 ρ – vee tihedus, kg/m^3 ;
 c_p – vee erisoojus, $J/(kg \cdot K)$;
 T_2 – lõpptemperatuur, $^{\circ}C$;
 T_1 – algtemperatuur, $^{\circ}C$.

Katse käigus selgus, et termostaadil märgitud reguleerimisvahemik jääb $27,7^{\circ}C$ ning $71,2^{\circ}C$ vahele, mis on kooskõlas tootjaandmetega. Temperatuuri hoidmine

toimub keskmiselt 4,25 °C vahemikus ning on veidi erinev kõrgematel ning madalamatel temperatuuridel. Valitud reguleerimispunktide temperatuurid on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Mõõdetud temperatuurid

Table 1. Measured temperatures

Tsükel	Kuumutamine, °C			Jahtumine, °C		
	T1	T2	ΔT	T1	T2	ΔT
1	8,053	61,108	53,055	61,106	56,131	4,975
2	56,129	61,000	4,871	60,997	56,103	4,894
3	56,101	60,118	4,017	59,83	56,073	3,757
4	56,072	70,474	14,402	70,198	66,233	3,965
5	66,233	71,177	4,944	70,888	66,589	4,299
6	66,589	70,861	4,272	70,595	66,719	3,876
7	66,717	70,945	4,228	70,682	27,671	43,011
8	27,688	40,303	12,615	39,495	35,695	3,800
9	35,696	40,521	4,825	39,717	34,996	4,721
10	34,998	39,519	4,521	38,313	35,004	3,309
11	35,007	50,263	15,256	49,227	46,497	2,730
12	46,496	50,704	4,208	50,703	46,44	4,263

Boileri soojuskadusid hinnati jahtumise aja ning temperatuuri muutuste alusel. Saadud katseandmete põhjal leiti kogu väliskihtide soojusjuhtivustegur, mis oli keskmiselt 0,018 W/(m·K). Boileris on kasutatud isolatsioonimaterjalina polüuretaan vahtu, mille soojusjuhtivusteguriks on vastavalt Eesti Isolatsiooniettevõtjate liidu andmetele 0,021 W/(m·K) [3].

JÄRELDUSED

Termostaadi regulaatori erinevad positsioonid viidi mõõdetud temperatuuri anduri abil vastavusse kindlate temperatuuri väärtustega. Kogutud andmemassiivi analüüsil saadud tulemustest leiti boileri reaalsed soojuskaod. Andmetöötlusel selgus, et mõõtmiste teostamine intervalliga kord minutis võimaldanuks kiiremat andmete analüüsi, saades seejuures samaväärsed tulemused. Täpsemate lõpptulemuste saavutamiseks võiks suurendada temperatuuriandurite hulka ning varieerida nende asukohti boileri sees. Kogutud andmed on piisavad boileri töörežiimi optimeerimiseks loodava mudeli täiendamiseks, millest tulenevalt täitis katse oma eesmärgi.

KASUTATUD KIRJANDUS

[1] A. Rosin, S. L. (2015). *Energiasalvestised ja -salvestustehnoloogiad*. Tallinn: TTÜ elektrotehnika instituut.

- [2] *Poliüuretaan (PUR) isolatsioonimaterjalina*. (n.d.). Retrieved 04 04, 2015, from MTÜ Eesti Isolatsiooniettevõtjate Liit: http://www.eiel.ee/web/index.php?lang=et&page_id=36
- [3] *Produtos, Termostato*. (2015). Retrieved 04 04, 2016, from Pigmento Acessorios: <http://www.pigmento.pt/index.php/produtos/termoacumuladores/termostatos-p-termoacumuladores/termostato-regulavel-70.html>

Basseinivee jääksoojuse energeetiline potentsiaal

Pool Water Residual Energy Potential

M. Saareoks, I. Liivago, M. Märss

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. Due the tax increases and long term rising energy prices companies are seeking to improve their economic performance. Economic performance could be improved by better energy saving and using methods. Financial savings could be reached with heat recovery equipment installation. In water parks there could be used pool water residual energy by recovering heat from it. The aim of this article is to determine annual sand filters backwash water residual energy potential. To achieve the aim of this article there were used monthly based water consumption data of Värskas's water park and additional water temperature measurements were made. Daily based water meter readings were registered to assist measurements. Measurement data were filtered and incoming bore well water temperature was fixed. Outgoing water temperature was calculated by using weighted average of sand filters weekly backwash time and water temperature. Annual use of pool water was calculated by arithmetic mean of previous three years annual water consumption. From that result there were subtracted percentage of water which were pumped into pool between filters backwash procedures. Percentage was determined by daily based water meter reading results. Average annual volume of filter backwash water was 7448 m³. Annual water residual energy potential was calculated by water specific heat capacity, water mass and temperature difference between incoming and outgoing water. Värskas's water park annual residual heat energy recovery potential was 706,42 GJ. Based on calculated energy potential there could be made further economic and technical calculations about residual energy recovery equipment installation expedience.

Key words: residual energy, sand filter backwash, weighted arithmetic mean, pool water

SISSEJUHATUS

Eestis on Terviseameti andmebaasi järgi 349 avalikku basseini, millest vaid vähestes kasutatakse basseinivee jääksoojuse tagastamise süsteeme [1]. Majutusasutuste käibemaksu tõus üheksalt protsendilt 14 protsendini 2017. aastal ning pikemas perspektiivis tõusvad energia hinnad sunnivad majutusautusi üle vaatama oma majandustegevuse kulusid. Mitmed veekeskused omavad ka sama ettevõtte all tegutsevat majutusasutust ning maksumuudatus sunnib ka neid ümber vaatama oma majanduskulusid. Üheks paljudest raha säästmise meetmetest on energiakasutuse kulude vähendamine. Veekeskuste võimalused energialt säästa on näiteks ehitiste piirdekonstruktsioonide parendamine, energiakasutuse optimeerimine erinevate automaatikalahendustega või energia tagastamine muidu hoonest ventilatsiooni või veega lahkuvast soojusest.

Käesolevas artiklis uuritakse AS Värskas Sanatooriumi veekeskuse näitel basseiniveega filtripesul lahkuva soojuse energeetilist potentsiaali.

MATERIAL JA METOODIKA

Basseinivee jääksoojuse potentsiaali määramiseks tuli leida veekeskuse normaalveekasutus, mille alusel oli võimalik leida basseiniveega eemaldatava jääksoojuse energeetilist potentsiaali. Selleks olid kasutusel veekeskuse kuupõhised veetarbimised alates 2011. aastast kuni 2015. aasta lõpuni.

Jääksoojust kandva filtripesu järgselt basseinidest lahkuva ning veetaseme taastamiseks vajaliku vee massivood on erinevad ning seetõttu tuleks soojusvaheti paigaldamisel jääksoojust kandev vesi teatud ajaks akumuleerida. Kuna protsessid kulgevad niivõrd erineva ajalise pikkusega, tuli mõõtmistega välja selgitada nende voogude tegelik kulg. Selleks paigaldati veekeskusesse andmeid salvestav mõõteseade. Registreeriti väljuva ja siseneva vee temperatuure ning veemõõtja impulssväljundi abil veekasutust.

Mõõtmistega, mis toimusid kahes etapis, alustati 2016. aasta 25. jaanuaril ning lõpetati sama aasta 10. märtsil. Esmalt registreeriti kümne minutiliste välpadega siseneva vee keskmist temperatuuri ning sisenevat vett mõõtva veearvesti impulssväljundi abil veekasutust. Teises etapis registreeriti iga minuti järel väljuva vee keskmised temperatuurid. Iga mõõtepunkti juurde registreeriti ka mõõtmisvahemiku (1 minut või 10 minutit) minimaalne ja maksimaalne tulemus.

Mõõtmistulemusi assisteerisid veekeskuse töötajate igapäevased veearvesti näidu registreerimised, mille abil oli võimalik tuvastada filtripesul väljutatava vee kulu ning filtripesude vahelisel ajal eemaldatav veekogus ühe kuupmeetri täpsusega.

Mõõdetud tulemuste, igapäevaselt üleskirjutatud näitude ning eelneva kolme aasta veekasutuse aritmeetiliste keskmise abil leiti basseiniveega eemaldatava vee aastane energeetiline potentsiaal soojushulga arvutamise valemiga (valem 1) [2].

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t, \quad (1)$$

kus Q on jääksoojusega eraldatav soojushulk J;

m – vedeliku mass kg;

c – isobaarne erisoojus J/kg·°C;

Δt – temperatuuride vahe °C;

Valemis 1 kasutati vee erisoojuse väärtust 4182 J/kg·°C [3]. Vee ruumalast massi leidmisel arvestati vee tiheduseks 1000 kg/m³.

Siseneva vee temperatuur leiti mõõdetud andmeid töödeldes ning mittesobivad väärtusi eemaldades. Esmalt eemaldati temperatuurid, mis ületasid 10 °C. Järgnevalt temperatuuripunktid, mille ekstreemumite vahe mõõtevahemiku jooksul ületas 0,1 kraadi. Allesjäänud tulemuste aritmeetiline keskmine loeti kaevust siseneva vee temperatuuriks.

Väljuva vee ehk jääksoojust kandva vee temperatuur leiti kasutades kaalutud keskmist. Kaalutud keskmise temperatuuri arvutamisel arvestati kahe suurema basseini temperatuuriga ja nädalas filtripesul väljuva vee kogusega filtripesu ajalise kestvuse järgi. Iga filtri pesemine koos loputusega kestab keskmiselt 5,5 minutit. Filtrite pesemine oli toimunud varem väljakujunenud rotatsiooni põhjal teatud nädalapäevade hommikutel. Mõõtmisperioodi ajal katsetati ka varasemaga võrreldes erinevat rotatsiooni (tabel 1).

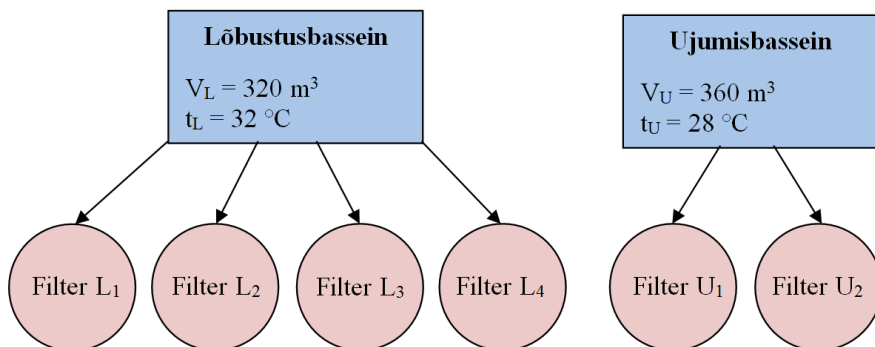
Tabel 1. Filtripesule kuluv aeg nädalas. Allikas [4]

Table 1. Sand filters backwash time in week. Source [4]

Bassein	Vana rotatsioon		Testitud rotatsioon	
	Filtripesule kuluv aeg nädalas, min	Basseinivee temperatuur, °C	Filtripesule kuluv aeg nädalas, min	Basseinivee temperatuur, °C
Lõbustusbassein	66	32	77	32
Ujumisbassein	33	28	39	28
Kokku	99	-	116	-

Valemi 1 tulemi saamisel kasutatud viimase kolme aasta aritmeetilisest keskmisest veekasutusest arvestati protsentuaalselt maha muudel aegadel, kui filtripesul basseini sisenev veekogus vastavalt veekeskuse töötajate poolt üles märgitud veenäitudele.

Ujumis- ja lõbustusbasseini kirjeldavad näitajad on esitatud joonisel 1. Sellelt on näha, et esimesel neist on kaks ja teisel neli liivafiltrit.



Joonis 1. Värska veekeskuse suuremaid basseine kirjeldavad näitajad. Allikas: [4]

Figure 1. Main characteristics of pools in Värska waterpark. Source: [4]

Vana rotatsiooni järgi pesti kõik joonisel 1 kujutatud filtrid esmaspäeval, kolmapäeval ja reedel. Katseperioodil testitud rotatsiooniga pesti iga päev üks ujumisbasseini ja kaks lõbustusbasseini filtrit. Uue rotatsiooni testimise eesmärk oli vähendada ühe korraga eemaldatava vee hulka, mis aitab tagada stabiilsema veetemperatuuri basseinides, väiksema akumulatsioonivajaduse soojusvaheti paigaldamise korral ning vett soojendava katlamaja ühtlasema koormuse. Jälgiti ka vee basseinivee kvaliteeti.

TULEMUSED JA ARUTELU

Viimase kolme aasta basseinide veekasutuse aritmeetilise keskmise järgi saadi veekeskuse aastaseks veekuluks 8541 m³. Filtripesu väliselt kasutasid mõõtmisperioodil basseinid 12,8 % vett ning selle protsendi mahaarvamisel saadakse aastaseks filtripesu veekuluks 7448 m³.

Siseneva vee temperatuuriks saadi 7,99 °C ning väljuva vee kaalutud keskmiseks temperatuuriks saadi nii vana, kui ka uue rotatsiooni alusel 30,67 °C.

Vana rotatsiooniga eemaldati korraga 39...42 m³ vett ning uue rotatsiooniga langes korraga väljutatav veehulk 19...21 kuupmeetrit. Eemaldatud veekogus taastus vana rotatsiooni korral 4...6 tunniga ning testitud rotatsiooni korral 2...3 tunniga. Filtripesu järgselt siseneva vee massivoog oli 1,8...2,5 kg/s. Testitud rotatsioon viib korraga eemaldatava veekoguse väiksemaks ning võimaldab ehitada väiksema akumulatsioonipaagi jääsoojust kandva basseinidest eemaldatava vee hoiustamiseks.

Väljuva vee kaalutud keskmise ning siseneva vee temperatuuri alusel on aastas filtripesul eemaldatavas 7448 m³ vees 706,42 GJ (196,23 MW·h) energiat.

JÄRELDUSED

Artiklis kasutatud meetodi järgi leitud basseinivee jääsoojuse potentsiaali alusel on võimalik viia läbi edasisi majanduslikke ja tehnilisi arvutusi. Majanduslike arvutuste all peetakse peamiselt silmas soojusvaheti paigaldamise korral aastas potentsiaalselt võidetavad rahalist väärtust tulenevalt energia kokkuhoiust ja soojust müüva katlamaja energia hinnast. Tehniliste arvutustega saab vastavalt soojusvaheti parameetritele leida tegelikult tagastatava energia.

Filtripesu rotatsiooni muutus ei mõjunud vee kvaliteedile halvasti aga kuna ka vana rotatsiooni korral vastas basseinivesi normidele, võib testitud rotatsioonis nädalase veekulu vähendamise eesmärgil vähendada filtripesu nädalase kestvuse vana rotatsiooniga samale tasemele. Millest tulenevalt on testitud rotatsiooni korral võimalik nädalast filtripesu aega vähendada 15,5 minuti võrra ehk kolme filtripesu korra võrra. Teisalt võib mõelda võimalustele viia filtripesud hommiku asemel läbi öhtul, millega on võimalik tagada katlamaja ühtlasem ööpäevane koormus ning basseinivee stabiilsem temperatuur päevasel ajal ehk ajal mil kliendid kasutavad basseini.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Terviseamet, „Terviseameti koduleht“, Terviseamet, 28 03 2014. [Võrgumaterjal]. Available: www.terviseamet.ee. [Kasutatud 23 03 2016].
- [2] A. Ots, Soojustehnika aluskursus, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2011, p. 816.
- [3] A. Rosin, S. Link, H. Hõimoja ja I. Drovtar, Energiasalvestid ja -salvestustehnoloogiad, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2015, p. 183.
- [4] *Värskas veekeskuse andmed*, Värskas: AS Värskas Sanatoorium, 2016.

Koostootmise rakendamine energiasäästmise eesmärgil

CHP application to reduce energy usage

M. Merimaa, A. Annuk

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. The aim of this research paper is to verify that combined heat and power cogeneration is thermodynamically the best way to increase the efficiency of primary energy usage. In manufacturing plants where it is possible to use heat energy usefully most of the year it is advisable to engage cogeneration. To estimate the cogeneration energy savings compared to separately produced usable electricity and heat, it is possible to calculate the Primary Energy Saving (PES). In this papers case study it was found out that in the year 2015 the researched manufacturing plant PES was 35,56 %.

Key words: CHP, primary energy savings, heat energy, electrical energy.

SISSEJUHATUS

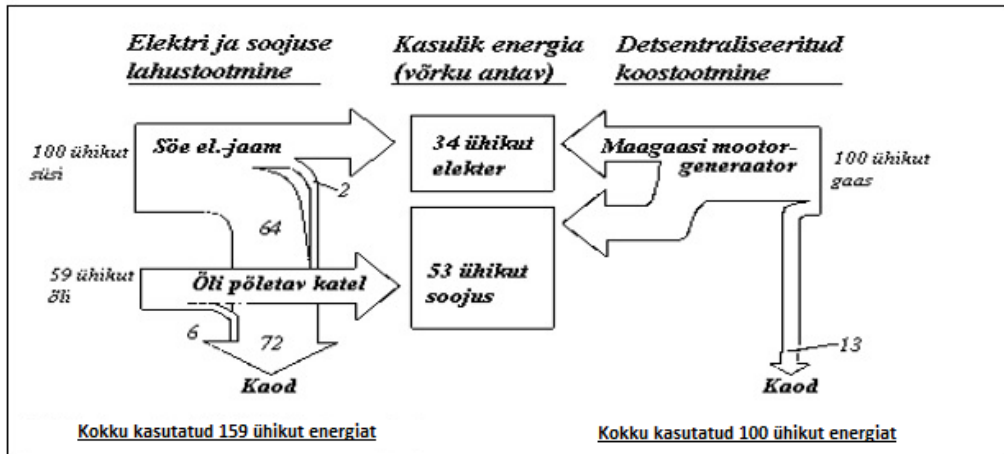
Tänapäeval on väga aktuaalne erinevatel viisidel energiasäästmine. Maailma rahvastiku arv on kiirenevas tempos pidevalt kasvamas ning tänu arenenud riikides valitsevale turumajanduslikule majandussüsteemile tootmine ning tarbimine aina suurenevad. Pidevalt kasvav erinevate energiamahukate toodete tootmine suurendab omakorda tootmisele kuluvat energiavajadust. Euroopa Liit, kaasaarvatud Eesti on aga võtnud endale väga ambitsioonikad eesmärgid hoida kokku energia tarbimiselt, vähendada kasvuhoonegaaside heitmeid ja suurendada taastuvate energiaallikate kasutamist. Üheks võimaluseks kuidas kõike seda teha on laialdasemalt kasutusele võtta kõrge kasuteguriga koostootmisseadmed.

Kui tavapärased elektrijaamad toodavad elektrienergiat siis tekitavad nad suurel hulgal soojust, mis jääb kasutamata, kuid mida saaks kasulikult ära tarbida. Keskmisel elektriettevõtte elektrijaamal muundatakse umbes kaks kolmandikku sisse antavast kütuse energia sisaldusest soojuseks ning heitmeteks. Alternatiivselt on võimalik lõpptarbijal, kellel on suured soojus- ning elektrienergia vajadused, toota samaaegselt oma hoones või selle lähistel mõlemat energiat koostootmisjaamaga. Koostootmisjaama abil on võimalik märgatavalt suurendada energia kasutamise efektiivsust. Koostootmist võib pidada termodünaamiliselt parimaks viisiks, kuidas saab suurendada kütuse kasutamise efektiivsust.

Soojuse ja elektrienergia koostootmine on kõrge kogukasuteguriga, kütuse kasutamise kogukasutegur on tavaliselt 85–92% seega on see võrreldav praegusaegse lokaalkatlamaja katla kasuteguriga soojuse tootmisel [1]. Koostootmisjaama abil on võimalik märgatavalt suurendada energia kasutamise efektiivsust, mida on illustratiivselt näidatud joonisel 1.

Selgitavalt jooniselt on näha, et elektri- ning soojusenergia koostootmisel on võimalik vähendada energia muundamise kadusid võrreldes eraldi tootmisega kuni 40%. Kui koostootmisel sisestada 100 ühikut kütust, siis jaam suudab kasulikuks

energiaks muundada, olenevalt kasutatavast tehnoloogiast, ~87% kütuseks kasutatavast energiast. Millest ligikaudu 34 ühikut on toodetud elektrienergia ning 53 ühikut on soojusenergia, mida saab edastada kas auruna või sooja veena. Traditsionaalse elektri ning soojuse lahustootmisel on aga tunduvalt rohkem energiat tarvis, et toota sama kogus kasulikku energiat.



Joonis 1. Koostootmise rakendamisel saadav energiasääst Allikas: [2]

Figure 1. CHP application and gained energy savings. Source: [2]

Antud artiklis on keskendutud ühele suuremale Eesti ettevõttele, kes toodab elektrienergiat ning varustab Tartu linna kaugküttevõrku soojusega. Artiklis vaadeldakse milline on uuritava koostootmisjaama kogukasutegur ning millised on elektri ning soojuse tootmise kasutegurid. Artikli eesmärgiks on näidata, kui suurt primaarenergia säästu on võimalik elektrienergia ja soojuse koostootmisega saavutada. Efektiivsema energia kasutamise tulemusel on võimalik seeläbi saavutada suurt energiasäästu.

MATERIAL JA METOODIKA

Uurimistöö objektiks on valitud Tartumaal Luunja vallas asuv soojuse ja elektri koostootmisjaam, mis kasutab kütustena peamiselt hakkpuitu (85 %) ning väiksemal määral freesturvast (15 %). Uuritava objekti tööprotsesside mõistmiseks tuli käia ettevõttes kohapeal andmeid kogumas ning kasutatava tehnoloogiaga tutvumas.

Tartu külje all olevat koostootmisjaama opereerib AS'i Fortum Tartu tütarettevõtte AS Anne Soojus. Ettevõtte Anne Soojus alla kuulub kohalikel kütustel (hakkpuit ja turvas) töötav moodne Tartu Elektriyaam. Koostootmisjaama elektriline võimsus on 25 MW ning üle jäävat jääksoojust kasutatakse aastaringsest täielikult ära Tartu linna kaugküttevõrgu baaskoormuse katmiseks. Koostootmisjaama soojuslik võimsus on 50 MW ning jaam on varustatud suitsugaaside pesuriga, mis annab kevad-, sügis- ja talveperioodil veel lisa soojuslikku võimsust 15 MW. Suitsugaasipesuriga on võimalik vähendada saasteainete kogust suitsugaasides, suurendada koostootmisjaama soojusliku kasutegurit ning piirata kütusekulu ehk vähendada primaarenergia kasutamist [3].

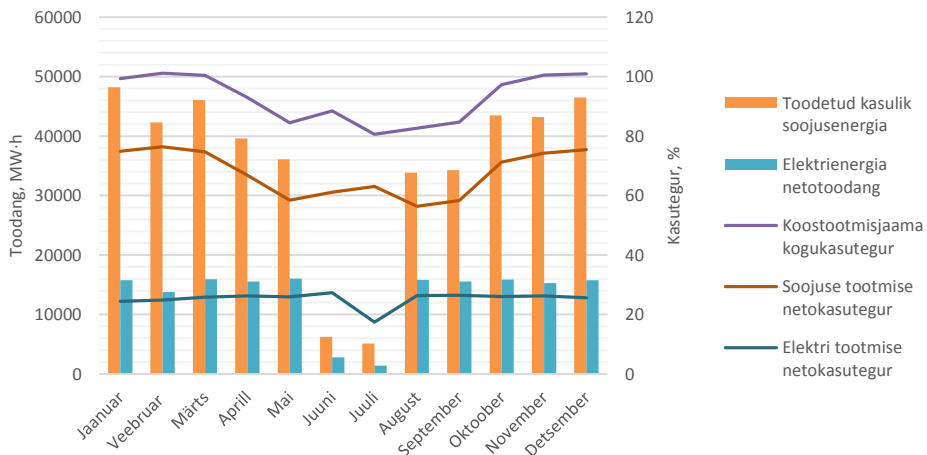
Koostootmisjaama katelde projektvõimsuseks on 75 MW ning need on optimeeritud linna soojusvõrgu suvise baaskoormuse järgi. Koostootmisjaamasid on mõistlik projekteerida aastaringse stabiilse soojuskoormus nõudlusega tootmistes, kuna sellisel viisil on võimalik saavutada maksimaalselt efektiivne kütuste kasutamine. Katla tehnoloogiaks on mullistuv keevkihtkatel, mis suudab toota 114 baarise rõhuga ja 525 °C'st auru, tootlikkusega 28,5 kg/s. Katlasse mineva turba ning hakkpuidu kütuse võimsus on ligikaudu 84 MW. Jaama aastane kütusevajadus on 475 000 MW·h ning talvekuudel võib kütusevajadus ulatuda päevas kuni 2850 MW·h'ni. Koostootmisjaamas kasutatavaks tehnoloogiaks on vasturõhuauruturbiiniga koostootmiseseade Siemens'lt, mille elektriline maksimaalne väljundvõimsus on 24,8 MW ja minimaalne 3 MW ning väljastatav pinge 10 kV. Turbiini komplekti kuulub kolm kaugküttevõrgu soojusvahetit maksimaalse võimsusega 75 MW.

Primaarenergia kasutamisel koostootmisjaamas tõuseb soojuse ja elektri tootmise kogukasutegur ehk toimub efektiivsemalt primaarenergia kasutamine. Koostootmisjaama kogukasutegurit arvutatakse kütuse alumise kütteväärtuse alusel. Elektrienergiat ja soojus tootva seadme kasutegur on leitav valemiga [4]:

$$\eta_{kogu} = \frac{P_{el} + Q_s}{Q_{kütus}} = \eta_{el} + \eta_s \quad (1)$$

kus η_{kogu} on koostootmise kogukasutegur;
 P_{el} – elektriline võimsus W;
 Q_s – soojuslik võimsus W;
 $Q_{kütus}$ – kütuse põlemisel saadud võimsus W;
 η_{el} – elektriline kasutegur;
 η_s – soojuslik kasutegur.

Uuritava koostootmisjaama 2015. aastal toodetud kasuliku soojuse ning kasuliku elektrienergia toodangud, koos kasuteguritega on välja toodud joonisel 2.



Joonis 2. Koostootmisjaama toodetud energia ja kasutegurid aastal 2015

Figure 2. CHP heat and electrical energy production and efficiencies in year 2015

Koostootmisjaama 2015 aasta keskmine netokogukasutegur, kust on maha arvestatud koostootmisjaama elektri ning soojuse omatarve, oli 92,8 % millest elektrienergia kasutegur oli 25,2 % ning soojuslik kasutegur 67,6%. Selline kõrge kogukasutegur on saavutatud tänu suitsugaaside pesurile, millega võetakse suitsugaasidest jääksoojus välja. Jooniselt 2 on ka näha, et tänu suitsugaasides oleva soojusenergia taas ära kasutamisele on võimalik saavutada ka 100 %-st suuremat kogukasutegurit, kuna kütuses olev veeaur kondenseeritakse.

Hea ülevaate koostootmise energiasäästlikkuse hindamiseks annab primaarenergia säästu (PES) välja arvutades. Primaarenergia sääst näitab, kui palju hoitakse primaarengiat kokku elektrit ning soojust koostootes võrreldes sama kogust elektrienergiat ja soojust eraldi tootes. Koostootmisel tekkiva primaarenergia säästu on võimalik arvutada järgmise valemiga [5]:

$$PES = \left[1 - \frac{1}{\frac{CHPH\eta}{REFH\eta} + \frac{CHPE\eta}{REFE\eta}} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

kus	<i>PES</i>	on	primaarenergia sääst;
	<i>CHPHη</i>	–	kasuliku soojuse kasutegur;
	<i>REFHη</i>	–	soojuse eraldi tootmise viiteväärtus, puitkütus = 86% [5];
	<i>CHPEη</i>	–	koostoodetud elektrienergia kasutegur;
	<i>REFEη</i>	–	elektrienergia eraldi tootmise viiteväärtus, puitkütus= 34% [5].

Valemis olev kasuliku soojuse kasutegur ja koostoodetud elektrienergia kasutegur on arvutatud viimase 12 kuu soojuse või elektri toodangu jagamisel kütuseenergiaga, mis kulus kasuliku soojuse ja elektri koostootmiseks aastal 2015. Valemi 2 põhjal arvutatult on uuritava koostootmisjaama 2015. aasta primaarenergia sääst 35,56%.

TULEMUSED JA ARUTELU

Artikli uurimise objektiks valitud koostootmisjaama arvutuste tulemusel selgus, et koostootmisjaam töötab kõrge kasuteguriga kogu aasta vältel saavutades kohati kogukasuteguri üle 100 %. Ainult nelja kuul aastast (mai kuni september) langes kogukasutegur alla 90 %, kuna suviti on linna soojuskoormus madal ja suitsugaaside pesurit ei ole vaja kasutada. Lisaks juuli kuus viidi läbi katla hooldus, mille tõttu tuli paariks nädalaks koostootmine seisata. Sellest olenemata oli koostootmisjaama 2015. aasta keskmine netokogukasutegur 92,8 %, millest elektrienergia kasutegur oli 25,2 % ning soojuslik kasutegur 67,6%.

Koostootmise energiasäästlikkuse hindamiseks välja arvutatud primaarenergia sääst (PES) oli 2015. aastal 35,56%.

JÄRELDUSED

Uurimistöö tulemuste hindamisel saab saadud tulemusi kokkuvõtlikult lugeda positiivseteks, kuna püstitatud eesmärgid said täidetud. Artiklis selgub, et uurimisobjektiks valitud koostootmisel on energia muundamise kasutegur märgatavalt kõrgem, kui elektrit ning soojust eraldi tootes, millega saavutatakse primaarenergia säästlikum kasutamine.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Paist, A. "Soojuse ja elektri koostootmise tehnoloogiatest." Eesti põlevloodusvarad ja – jäätmed, ISSN 1736-0315, lk. 6–9, 2013.
- [2] Siirde, A., Ingermann, K. "Koostootmise majanduslik ja keskkonnakaitseline põhjendus." Tallinna Tehnikaülikool. [Online]. Available: http://www.staff.ttu.ee/~asiirde/Loengud/EAS/TTU_slaidimall%20PaideII-I-paar.ppt [Accessed 18.02.2016].
- [3] Fortum Tartu. Firma üldinformatsioon. [Online]. Available: https://www.fortumtartu.ee/page.php?lang=1&action=show_page&page_id=51 [Accessed 01.04.2016].
- [4] Kruus, R., Vares, V. "Perspektiivsetest elektri ja soojuse koostootmise tehnoloogiatest Eestis". – Tallinn: Grafica Malen. – 35 lk, 2002.
- [5] Töhusa koostootmise nõuded. – Riigi Teataja, RTL 2007, 41, 696. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12825847?tegevus=telli-teavitus> [Accessed 02.04.2016].

Kirmsi alajaama võrgupiirkonna elektrivarustuse rekonstruktsioon

Reconstrucion of Kirmsi substation distribution network

V. Vaht, T. Peets

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. The following paper will give a short review about the Reconstruction of Kirmsi substation feeder F2 and Männisalu substation feeder F3. The objective of this article is to solve the problems regarding the existing power line of a client. According to the Elektrilevi OÜ program Webmap the value of the minimum one-phase short circuit current for the clients existing power line does not apply with the Elektrilevi OÜ norm J342/5 and the Standard EVS-HD 60364-41: 2007. During the reconstraction Works of Kirmsi substation feeder F2 and Männisalu substation feeder F3 the clients power line will be connected from the Kirmsi substation feeder F2 to Männisalu substation feeder F3. After the reconstruction Works the minimum one-phase short circuit current does apply with the Elektrilevi OÜ norm J342/5 and the Standard EVS-HD 60364-41: 2007.

Key words: Pole mounted substation, short circuit current, transformer, ground mounted switch board, low voltage overhead lines, land cable.

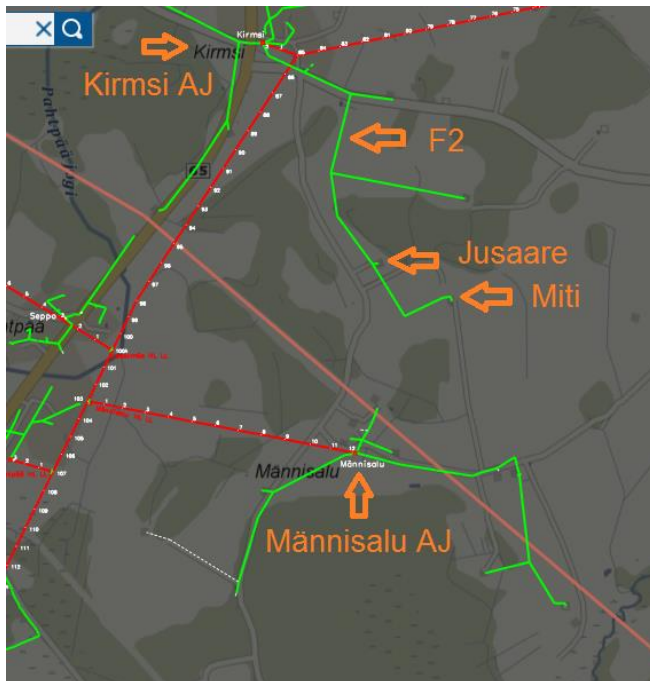
SISSEJUHATUS

Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 rekonstrueerimine põhineb Elektrilevi OÜ poolt väljastatud projekteerimisülesandel nr 22362. Projekteerimisülesandes on Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 elektrivõrgu rekonstrueerimise põhjusena välja toodud liiniprobleemide lahendamine. Kirmsi alajaama fiidri F2 toitel olev liitumispunkt, mille nimetus Elektrilevi OÜ rakenduse Webmap järgi on Miti, esitas Elektrilevi OÜ-le kaebuse pingeprobleemide lahendamise kohta. Elektrilevi OÜ töökomisjon tegi peale kaebusega tutvumist otsuse rekonstrueerida Kirmsi alajaama fiider F2 ja Männisalu alajaama fiider F3.

Kirmsi alajaama fiidri F2 liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasilise lühisvoolu väärtus ei vasta Elektrilevi OÜ juhendile J342/5 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseadmete valik“ [1] ja standardi EVS-HD 60364-4-41:2007 „Madalpinge elektripaigaldised osa 4-41: Kaitseviisid, Kaitse elektrilöögi eest“ punktile 411.3.2.3 [2], mille järgi jaotusvõrgus peab kaitseaparaat automaatselt katkestama vooluahela või seadme liinijuhi toite enamalt 5 sekundi jooksul.

Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 rekonstruktsiooni eesmärk on tagada liitumispunktis Miti elektriühendus, mis vastab Elektrilevi OÜ juhendis J342/5 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseadmete valik“ ja standardi EVS-HD 60364-41: 2007 „Madalpinge elektripaigaldised osa 4-41: Kaitseviisid, Kaitse elektrilöögi eest“ punktis 411.3.2.3 esitatud nõudele.

Kirmsi alajaama fiidri F2 liitumispunkti Miti pingeprobleemide lahendamiseks demonteeritakse olemasolev Kirmsi alajaama fiider F2. Liitumispunkt Miti ning liitumispunkt Jusaare ühendatakse ümber Männisalu 10/0,4kV 100kVA alajaama fiidri F3 toitele. Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 elektrivõrk on näidatud joonisel 1.



Joonis 1. Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 elektrivõrk.

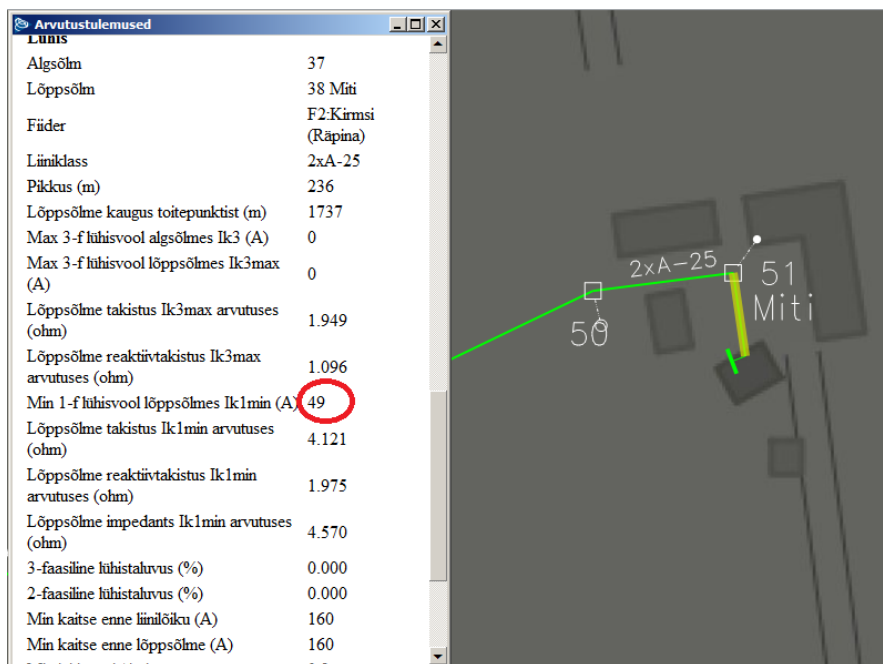
Figure 1. Power grid of the Kirmsi substation feeder F2 and Männisalu substation feeder F3.

Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 rekonstruktsiooni tulemusena vastab liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasilise lühisvoolu väärtus Elektrilevi OÜ juhendile J342/5 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseadmete valik“ ja standardi EVS-HD 60364-4-41:2007 „Madalpinge elektripaigaldised osa 4-41: Kaitseviisid, Kaitse elektrilöögi eest“ punktile 411.3.2.3.

MATERJAL JA METOODIKA

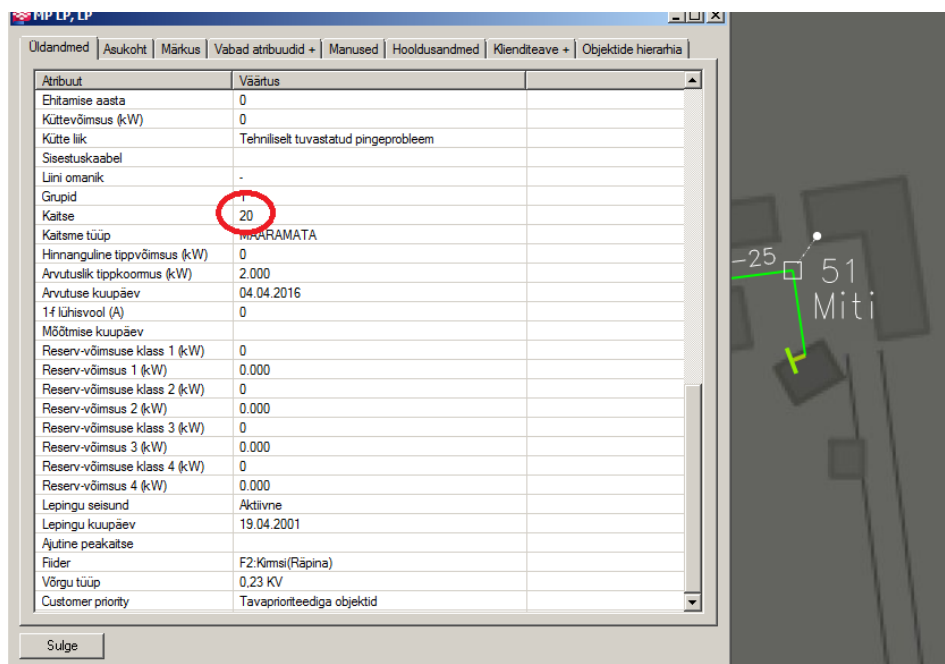
Rekonstrueeritav objekt asub Põlva maakonnas, Veriora vallas Kirmsi ja Männisalu külas.

Kirmsi alajaama fiidri F2 toitel oleva liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasiline lühisvool lõppsõlmes on Elektrilevi OÜ rakendusest Webmapi saadud andmete järgi $I_{k1min} = 494$ ja tarbimispunkti peakaitse suurus on 20A. Rakendusest Webmap saadud liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasiline lühisvoolu väärtus on näidatud joonisel 2. Rakendusest Webmap saadud liitumispunkti Miti peakaitse väärtuse on näidatud joonisel 3.



Joonis 2. Liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasiline lühisvool lõppsõlmes.

Figure 2. Minimum 1-phase short circuit current for customer Miti.

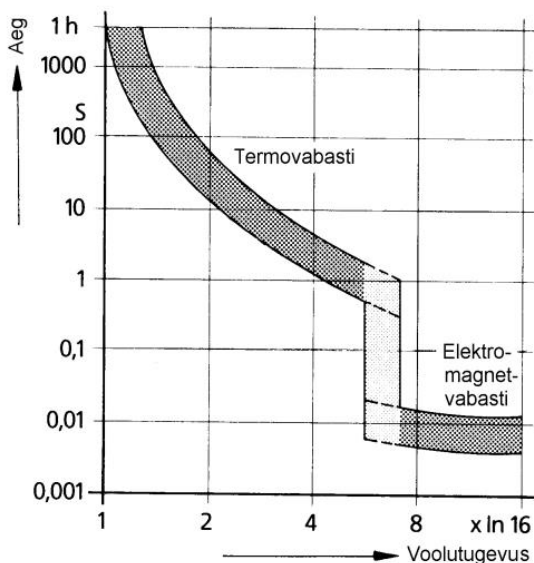


Joonis 3. Liitumispunkti Miti olemasoleva peakaitse suuruse.

Figure 3. The type of existing miniature circuit breaker for customer Miti.

Rikkeolukorras on liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasiline lühisvool lõppsõlmes 2,45 korda suurem liitumispunkti peakaitse nimivoolu suurus.

Lähtudes joonis 4 kaitselüliti tüüpilisest rakendumistunnusjoonest [3], millel on näha, et liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasiline lühisvool lõppsõlmes ei vasta Elektrilevi OÜ juhendile J342/5 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseadmete valik“ ja standardi EVS-HD 60364-4-41:2007 „Madalpinge elektripaigaldised osa 4-41: Kaitseviisid, Kaitse elektrilöögi eest“ punktile 411.3.2.3, mille järgi jaotusvõrgus peab kaitseaparaat automaatselt katkestama vooluahela või seadme liinijuhi toite enamalt 5 sekundi jooksul.

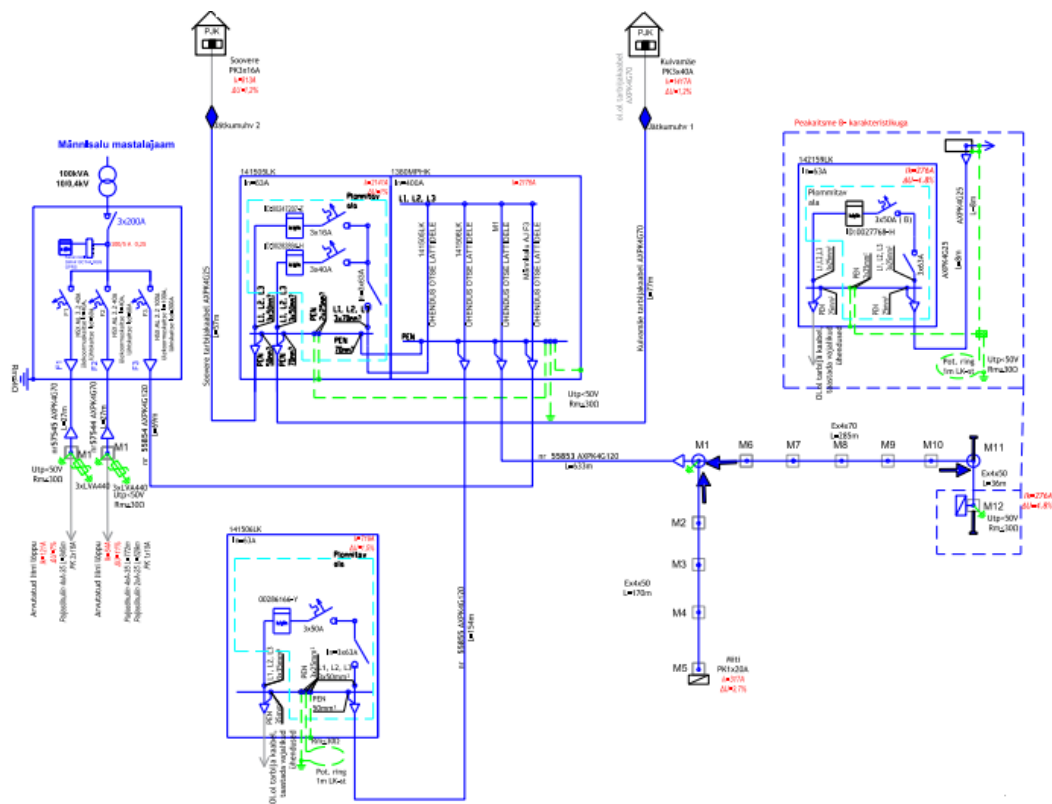


Joonis 4. Kaitselüliti tüüpiline rakendumistunnusjoon.

Figure 4. Time till trip versus current for typical miniature circuit breaker.

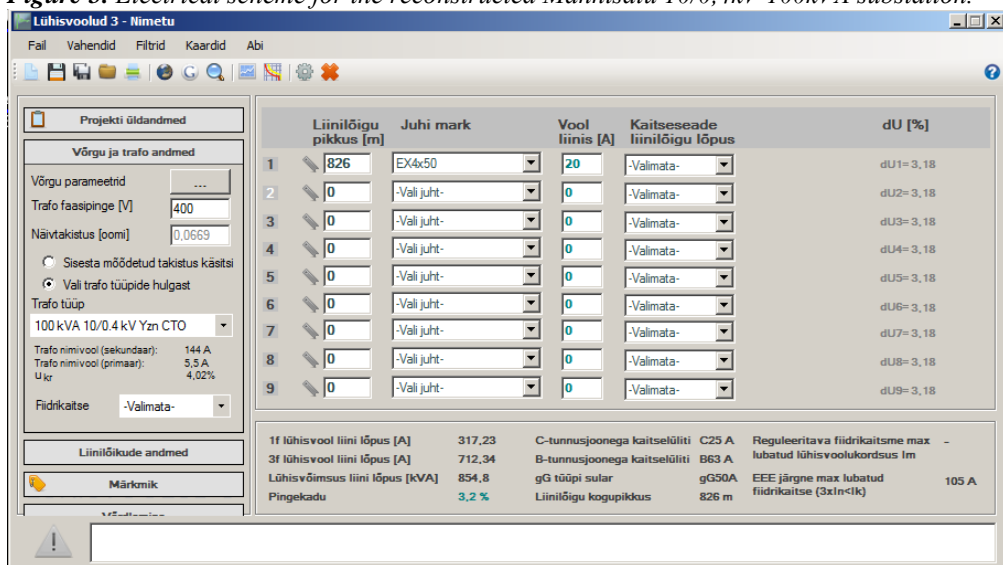
Liitumispunkti Miti pingeprobleemide lahendamiseks otsustas Elektrilevi OÜ töökomisjon rekonstrueerida Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3. Rekonstruktsiooni käigus demonteeritakse Kirmsi alajaama fiider F2. Fiidri F2 liitumispunktid Miti ja Jusaare ühendatakse Männisalu alajaama fiidri F3 toitele. Tööde käigus ehitatakse olemasoleva Männisalu KTP tüüpi alajaama asemele uus Männisalu 10/0,4kV 100kVA mastalajaam. Männisalu alajaama paigaldatakse uus ABB CTO 10/0,4kV 100kVA trafo. Trafo lülitusgrupp on Yzn.

Rekonstruktsiooni käigus paigaldatakse 1088meetrit ilmastikukindlat AXPk-tüüpi maakaabelliini. Demonteeritakse 1771 meetrit olemasolevat A-4x25 ja A-4x35 tüüpi traatjuhtmetega õhuliini. Rekonstruktsiooni mahus paigaldatakse 480 meetrit ALUS-tüüpi rippkeerdkaableid. Õhuliini vananenud raudbetoonist kandemastid asendatakse uute kreosootimmutusega puitmastide vastu. Viltu vajunud elektripostid õigutakse sirgeks. Rekonstruktsiooni käigus paigaldatakse Männisalu alajaama fiidri F3 liitumispunktile Miti ja Jusaare uued mastile kinnitatavad ühekohalised liitumiskilbid ja ehitatakse välja uued tarbijasisestused. Liitumispunktile Soovere ja Kuivamäe paigaldatakse kahekohaline sokliga liitumiskilp ja olemasolevad majasisestused ühendatakse jätkumuhvidega uue maakaabel võrguga.



Joonis 5. Rekonstrueeritud Männisalu 10/0,4kV 100kVA mastilajaama elektriskeem.

Figure 5. Electrical scheme for the reconstructed Männisalu 10/0,4kV 100kVA substation.



Joonis 6. Liitumispunkti Miti 1-faasiline lühisvool lõppsõlmes arvutamine.

Figure 6. Short circuit current calculation for customer Miti.

Joonisel 6 on näidatud Männisalu alajaama fiidri F3 toitele ühendatud liitumispunkti Miti ühe faasilise lühisvoolu arvutamine. Lühisvoolu arvutamiseks on

kasutatud internetist vabalt kättesaadavat rakendust „Lühisvoolud 3“. Nagu joonisel 6 on näha, siis Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 rekonstruktsiooni käigus Männisalu alajaama fiidri F3 toitele ümber ühendatud liitumispunkti Miti on lühisvoolu väärtus $I_{k1min} = 317,23A$ ja pingekadu on $\Delta U = 3,2\%$.

TULEMUSED JA ARUTELU

Elektrilevi OÜ rakendusest Webmap saadud andmete põhjal on Kirmsi alajaama fiidri F2 toitel oleva liitumispunkti Miti 1-faasiline lühisvool lõppsõlmes $I_{k1min} = 49A$. Liitumispunkti Miti peakaitsme suurus on Elektrilevi OÜ rakendusest Webmap saadud andmete järgi 20A. Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 rekonstruktsiooni käigus ühendatakse liitumispunkt Miti ümber Männisalu mastalajaama fiidri F3 toitele. Peale Männisalu alajaama fiidri F3 rekonstruktsiooni ja liitumispunkti Miti ümber ühendamist Kirmsi alajaama fiidri F2 toitelt Männisalu alajaama fiidri F2 toitele on liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasilise lühisvoolu väärtus $I_{k1m} = 317,23A$.

Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 rekonstruktsiooni materjalide ja töö maksumus on käesoleva esitluse koostaja hinnangul 47 000 eurot. Maksumusele lisandub Eestis kehtiv käibemaks.

JÄRELDUS

Elektrilevi OÜ rakendusest Webmap saadud andmete järgi on liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasilise lühisvoolu väärtus lõppsõlmes $I_{k1min} = 49A$. Liitumispunkti Miti peakaitsme suurus on rakendusest Webmap saadud andmete järgi 20A. Kirmsi alajaama fiidri F2 ja Männisalu alajaama fiidri F3 rekonstruktsiooni tulemusel on liitumispunkti Miti minimaalne 1-faasiline lühisvool lõppsõlmes $I_{k1m} = 317,23A$.

Lähtudes Elektrilevi OÜ juhendist J342/5 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseadmete valik“ ja standardi EVS-HD 60364-4-41:2007 „Madalpinge elektripaigaldised osa 4-41: Kaitseviisid, Kaitse elektrilöögi eest“ punktist 411.3.2.3, mille järgi jaotusvõrgus peab kaitseaparaat automaatselt katkestama vooluahela või seadme liinijuhi toite enamalt 5 sekundi jooksul ning joonisel 4 näidatud tüüpilise kaitselülitite rakendumistunnusjoonest, siis saab väita, et liitumispunktile Miti Elektrilevi OÜ juhendis J342/5 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseadmete valik“ ja standardi EVS-HD 60364-4-41:2007 „Madalpinge elektripaigaldised osa 4-41: Kaitseviisid, Kaitse elektrilöögi eest“ punktis 411.3.2.3 esitatud nõuded on täidetud.

Elektrilevi OÜ rakendusest Webmap saadud andmete põhjal on Männisalu alajaama fiidri F1 4xA-35 ja 2xA-25 traatjuhtmetega õhuliin. Liini pikkus on 1433 meetrit. Liini lõppsõlmes on 1-faasiline lühisvool $I_{k1m} = 61A$. Liini lõppsõlmes on liitumispunkti Leppoja peakaitsme suurus 10A.

Männisalu alajaama fiider F2 on 4xA-35 traatjuhtmetega õhuliin. Liini pikkus on 855 meetrit. Liini lõppsõlmes on 1-faasiline lühisvool $I_{k1m} = 120A$. Liini lõppsõlmes on liitumispunkti Salu peakaitsme suurus 16A.

Lähtudes Elektrilevi OÜ juhendist J342/5 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseseadmete valik“ ja standardi EVS-HD 60364-4-41:2007 „Madalpinge elektripaigaldised osa 4-41: Kaitseviisid, Kaitse elektrilöögi eest“ punktist 411.3.2.3, ning lähtudes joonisel 4 näidatud tüüpilise kaitselüliti rakendustunnusjoonest saab väita, et Männisalu alajaama fiider F1 ja F2 ei vasta esitatud nõuetele. Seetõttu soovitab käesoleva esitluse autor järgmise etapina rekonstrueerida Männisalu alajaama fiider F1 ja F2.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J342/5 Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseseadmete valik (2015). Elektrilevi OÜ
[https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/d50d0356a1df6258c2257766002da3e3/\\$FILE/J342%20Juhend%20toite%20automaatset%20valjalylitamist%20tagavate%20nouete%20rakendamiseks%20madalpinge%20elektripaigaldistes%20ver.5.pdf](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/d50d0356a1df6258c2257766002da3e3/$FILE/J342%20Juhend%20toite%20automaatset%20valjalylitamist%20tagavate%20nouete%20rakendamiseks%20madalpinge%20elektripaigaldistes%20ver.5.pdf)
- [2] Standard EVS-HD 60364-4-41:2007 Madalpinge elektripaigaldised osa 4-41: Kaitseviisid, Kaitse elektrilöögi eest. Eesti Standardikeskus. <https://www.evs.ee/tooted/evs-hd-60364-4-41-2007>
- [3] Kaitselülitid. (2010). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli elektriagamite ja jõuelektronika instituut.
http://www.ene.ttu.ee/elektriagamid/oppeinfo/materjal/AAR3340/5.5.1...5.5.5_Kaitselylitid._Liinikaitselylitid._Konspekt2010.pdf

Keskseade kodumajapidamise elektritarbimise juhtimiseks elektrihinna alusel

Central processing unit for controlling households' electricity consumption based
on electricity price

T. Pärle, M.Märss

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. The purpose of this article is to find out which are the electricity consuming habits among private sector consumers and how flexible they are in the field of energy saving. Also it gives an overview whether people would purchase a central processing unit for controlling the households' electricity consumption in order to save money on electricity bills. As many people's consuming habits are need based, they haven't thought about the ways to save energy. This survey was conducted among people connected to the Estonian University of Life Sciences and it showed that most people would consider obtaining the central unit to manage their electricity consumption more effectively. Based on the results of the survey, the central processing unit may become an integral part of every household in the future to help reach savings on monthly electricity bills.

Key words: electricity consumption, control unit, demand response, energy saving

SISSEJUHATUS

Elektrienergia tarbimine on Eestis aastakümnete vältel püsinud peaaegu samal tasemel. Kodumajapidamistes on küll elektrienergia tarbimine mõnevõrra tõusnud, kuid uute ning energiasäästlikke seadmete kasutuselevõtt on tarbimismahdade järsku kasvu märgatavalt piiranud. Antud asjaolu on tingitud pidevast tehnoloogia arengust – kasutusele on võetud palju kaasaegseid elektriseadmeid, mille abil on saavutatud tasakaal elektri kogutarbimises. Tänapäevaste ning üha nutikamate seadmete kasutamine on aidanud hoida kulusid elektrienergiale stabiilsena[1].

2013. aastal toimus Eestis elektrituru täielik avanemine – üleminek elektribörsile. Elektribörsi abil on võimalik tarbijatel valida endale ise elektrimüüja ning sõlmida sobiva elektripaketiga leping. Avatud turul saab erasektori tavatarbija valida üldjoontes kolme erineva elektripaketi vahel [2]:

- Kindel pakett – püsiv elektrihind lepingu vältel;
- Kombineeritud pakett – 50% püsiv hind, 50% sõltub elektribörsi hinnakõikumistest;
- Muutuvas pakett – elektrihind sõltub 100% börsihindadest.

Enamus elektritarbijaid erasektoris ei pööra tähelepanu sellele, et elektritarbimist teadlikult juhtides vastavalt turuhindadele on võimalik saavutada märkimisväärset säästu elektriarvetelt.

Antud artiklis on analüüsitud erasektori tarbijate elektritarbimisharjumusi ning paindlikkust säästu eesmärgil eelnevalt läbiviidud uuringu põhjal.

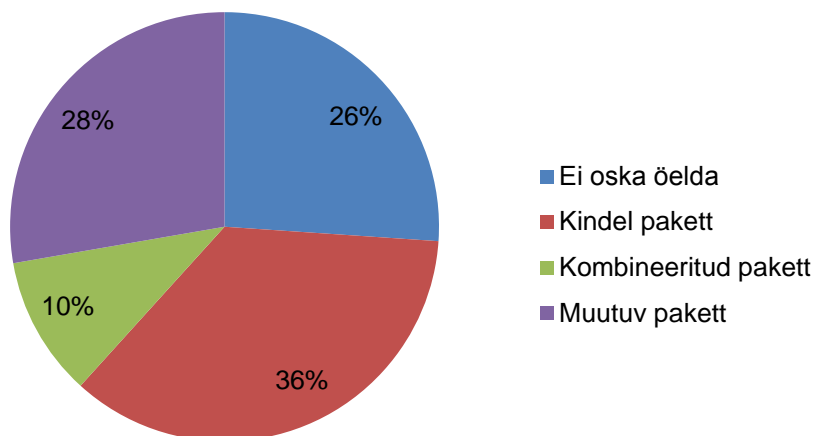
MATERJAL JA METOODIKA

Uurimistöö raames viidi läbi küsitlus kodumajapidamise elektritarbimise kohta. Uuring oli veebipõhine ning sihtgrupiks Eesti Maaülikooli tudengid, õppejõud ja teised ülikooliga seotud isikud. Küsitluse eesmärgiks oli välja selgitada, kas erasektori tarbijad oleksid nõus mugavustsoonist väljuma ning igapäevaseid elektritarbimisharjumusi muutes elektriarvetelt kokku hoidma, võttes selleks kasutusele tarbimist reguleeriva keskseadme. Küsitlus koosnes 19-st elektrienergia kasutamisega seotud valikvastustega punktist. Uuringust võttis osa 303 inimest vanuses 17...87 aastat, kellest 161 olid mehed ja 142 naised, keskmine vanus 29 aastat. Uuringutulemuste põhjal teostati analüüs, mille käigus uuriti erinevate elamutüüpide, elektripaketi valiku ja mitmete teiste aspektide toel inimeste teadlikkust elektrienergia tarbimise ja -säästuvõimaluste osas. Andmetöötluse käigus selgitati välja, millise elustiiliga erasektori tarbijad on potentsiaalsemad kodumajapidamise elektritarbimist börsi hinnale vastavalt juhtima.

TULEMUSED JA ARUTELU

Järgnevalt on graafilisel kujul analüüsitud erinevaid aspekte, mis mõjutavad tarbimise juhtimist abistava keskseadme soetamist küsitlusest osa võtnud inimeste vastuste seas. Vaatluse alla võeti erinevate elektripakettide valik, elektriarvete suurus, kursisolek elektrihinna muutustega börsil ning teised tegurid. Joonis 1 annab ülevaate, millise elektripaketi uuringus osalenud inimesed valinud on.

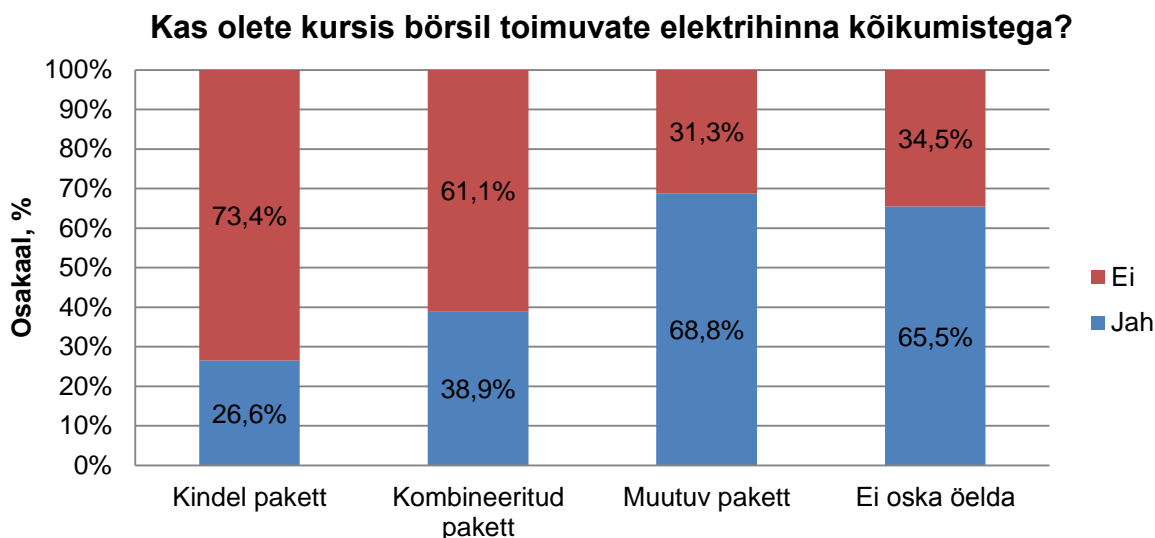
Millist elektripaketti Te kasutate?



Joonis 1. Elektripakettide osakaal uuringus osalenud inimeste seas.
Figure 1. The share of electricity packages among surveyed people.

Joonisel 1 on kujutatud elektripakettide valiku protsentuaalne osakaal uuringus osalenute seas. 36% vastajatest on valinud elektrimüüjaga lepingut sõlmides kindla paketi, kus elektri hind on lepingu vältel püsiv. Börsihindadest sõltuv elektripakett on 28%-lise osatähtsusega populaarsuselt teine ning 10% vastajatest osutas kombineeritud paketi kasuks. Iga neljas vastaja ei olnud paraku teadlik, millise elektripaketi põhjal elektriarveid

tasub. See võis olla tingitud asjaolust, et uuringus osales suur hulk tudengeid, kelle nimele ei kuulu ühtegi elektristu lepingut. Seetõttu ei olda ka kursis, millise paketi alusel elektriarveid tasutakse. Kuna uurimistöö keskendub börsihindade kõikumise alusel kodumajapidamise elektritarbimise juhtimisele, uuriti, kui paljud inimesed on kursis elektriturul toimuvate hinnamuutustega. Joonis 2 annab ülevaate erinevaid elektripakette valinud inimeste teadlikkusest börsihindade kujunemise osas.



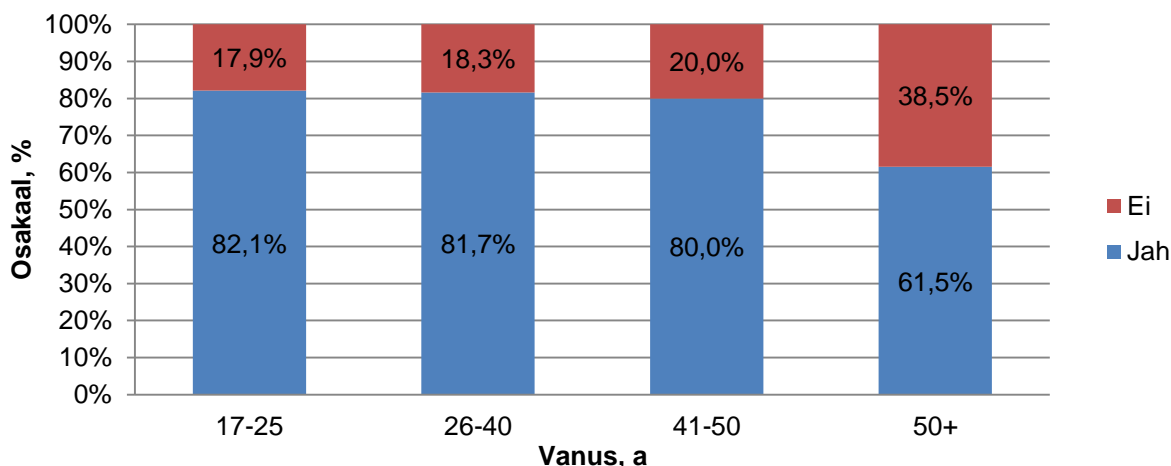
Joonis 2. Teadlikkus börsihindade muutustest elektripakettide valiku alusel
Figure 2. The awareness of stock market price changes among various electrical packages

Uuringutulemusi analüüsid selgus, et suur osa börsihindadega kursis olevatest inimestest on valinud muutuva elektri hinnaga paketi. Muutuva paketi valinud tarbijate seast 68,8% on börsihinna muutumisega kursis. Elektriturul toimuvast vähem teadlikud inimesed on seeläbi otsustanud kindla või kombineeritud paketi kasuks – vastavalt 73,4% ja 61,1% ei pööra elektri hindadele olulist tähelepanu. Kaks kolmandikku vastajatest, kes enda kodumajapidamise elektripaketi valikut täpsustada ei osanud, olid sellegipoolest kursis elektriturul toimuvate hinnamuutustega.

Kuna uurimistöö peamiseks eesmärgiks oli pakkuda erasektori tarbijatele välja lahendus juhtseadme näol, mis hõlbustaks kodumajapidamise elektritarbimise optimeerimist, vaadeldi edaspidi nende uuringus osalenute andmeid, kes on huvitatud kodumajapidamises erinevaid abinõusid kasutusele võttes vähendama kulutusi elektriarvetele. Järgmiseks uuringu etapiks oli välja selgitada, millises vanusegrupis on inimesed muutustele rohkem avatud. Joonisel 3 on näha kui suur hulk erinevasse vanusegruppi kuuluvatest vastajatest on nõus eelmainitud juhtseadet soetama.

Jooniselt 3 on näha, et koduse elektritarbimise optimeerimiseks mõeldav juhtseade on populaarne pigem nooremate inimeste seas. 17...50-aastaste uuringus osalenute hulgas on seadme soetamise poolt keskmiselt 80% inimestest. Üle 50-aastaste hulgas leidis juhtseade märgatavalt väiksemat poolehoidu. Tulemusi analüüsid võib lähtuda seisukohast, et nooremad inimesed on julgemad uusi ning kaasaegseid tooteid või teenuseid kasutusele võtma, mis pikemas perspektiivis kasu võivad tuua.

Kas oleksite nõus soetama elektritarbimist juhtiva seadme?

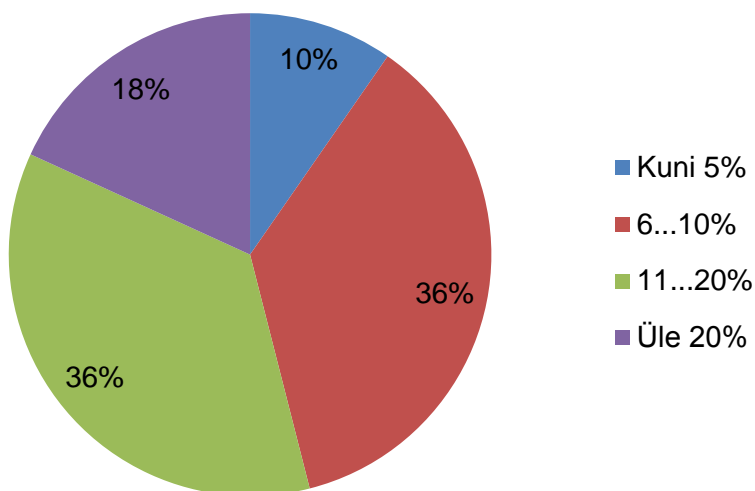


Joonis 3. Juhtseadme soetamine vanusegruppide kaupa

Figure 3. Purchasing central control unit by age groups

Järgnevalt võeti vaatluse alla aspekt, mis puudutas seadme tasuvusaega ning minimaalset säästu, mida uuringus osalenud juhtseadmelt ootaksid. Siinkohal jäeti arvestamata nende inimeste vastused, kes tarbivad elektriseadmeid alati vastavalt vajadusele ning juhtseadet antud hetkel kindlasti ei soetaks. Joonised 4 ja 5 annavad ülevaate inimeste minimaalsest soovitatavast säästust elektriarvetelt.

Kui suur võiks olla sääst elektriarvetelt juhtseadme soetamisel?

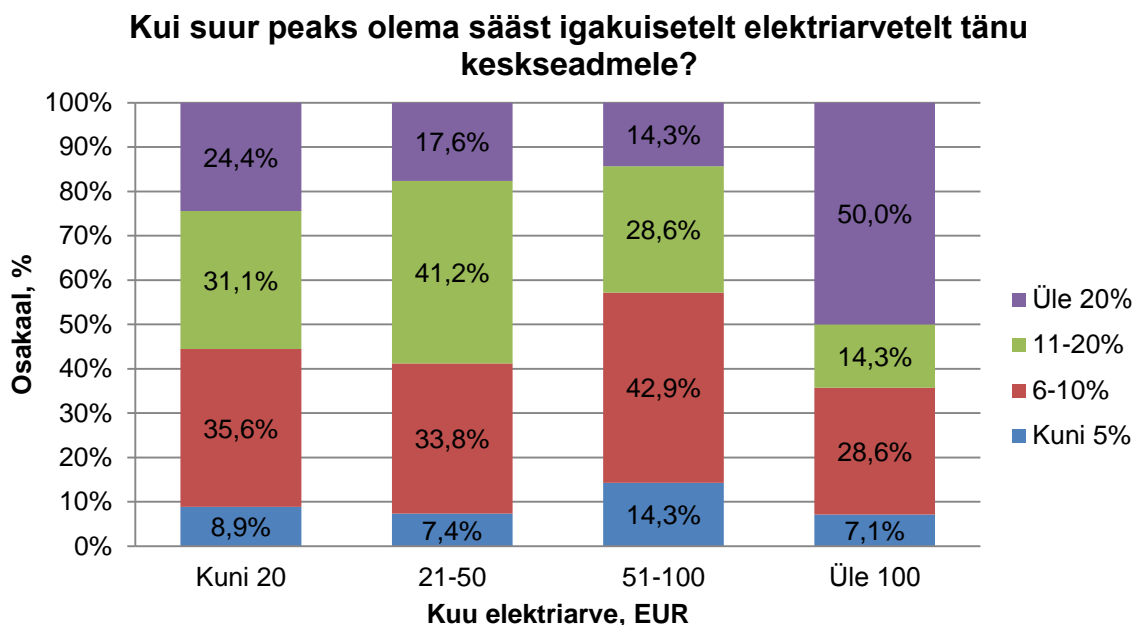


Joonis 4. Minimaalne soovitud sääst elektriarvetelt

Figure 4. The minimum expected savings in electricity bills

Joonisel 4 on kujutatud protsentuaalse osakaaluna minimaalne eeldatav sääst igakuisetelt elektriarvetelt nende inimeste hulgas, kes oleks nõus tarbimist juhtivat seadet soetades kodumajapidamise elektritarbimist juhtima. Graafiku järgi selgub, et valdav osa inimestest oleks nõus võtma kasutusele juhtseadme, kui see aitaks neil vähendada elektriarveid viiendiku võrra. 18% uuringus osalenutest ootab tarbimist juhtides koguni üle 20%-list säästu elektriarvetelt. Vaid 10% seadme soetamisest huvitatud inimestest oleks nõus kuni 5%-lise kokkuhoiuga.

Joonisel 5 on võrdluse alla võetud sõltuvus minimaalsest soovitud säästust juhtseadme kasutusele võtmisel ning vastajate praegustest elektriarvetest.



Joonis 5. Minimaalne soovitud sääst erineva suurusega elektriarvete puhul
Figure 5. The minimum expected savings by electricity bills

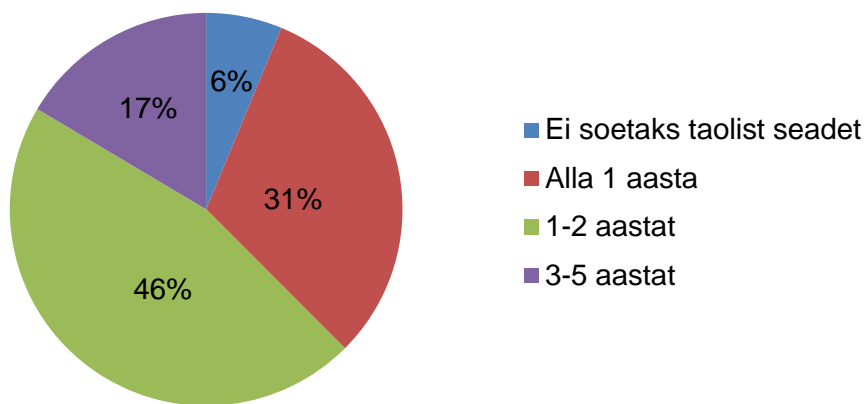
Joonisel 5 on kujutatud uuringus osalenute keskmised elektriarved ning minimaalse soovitud säästu protsentuaalne osakaal. Tulpdiagrammilt selgub, et üle 100 euroste makstavate elektriarvete puhul sooviksid 50% inimestest saavutada seadme soetamisega 20%-list säästu igakuisetelt arvetelt. Väiksemate elektriarvete tasumisel on inimesed rahul pigem tagasihoidliku säästuga. Suur on tõenäosus, et väga väikese elektritarbimise korral, mil elektriarved ulatuvad maksimaalselt 50 euroni, ei suudeta juhtseadme kasutusele võtmisega 20%-list säästu saavutada. Väiksemate elektriarvete puhul on seadmete juhtimise paindlikkus väiksem.

Samuti on antud teema puhul oluline taolise juhtseadme tasuvusaeg. Mida suurem on kodumajapidamise elektritarbimine, seda kiiremini teenib seade alginvesteeringuna kulutatud raha tagasi. Väga väikese tarbimise korral ei suudeta igakuiselt piisavalt palju elektriarvetelt kokku hoida, mistõttu ka juhtseadme tasuvusaeg pikeneb. Joonis 6 annab ülevaate, millist tasuvusaega inimesed seadme soetamisel ootavad.

Kuna kodumajapidamise elektritarbimist juhtiv seade nõuaks ka alginvesteeringut, oli oluline uurida inimeste arvamust seadme tasuvusaja kohta. Ligi pooled vastanutest sooviksid maksimaalselt 1-2 aastaga investeeritud raha tagasi teenida. Peaaegu kolmandik

(31%) inimestest oleksid nõus juhtseadme soetama juhul, kui ühe aasta jooksul pärast seadme soetamist ilmneks juba rahaline võit. 17% uuringus osalenutest on nõus 3-5 aastase tasuvusajaga. Uuringutulemusi analüüsid selgus ka vastuolu, kus inimesed otsustasid küll seadme soetamise kasuks, kuid tasuvusaega puudutavas punktis valisid vastusevariandi „Ei soetaks taolist seadet“.

Milline peaks Teie arvates olema juhtseadme tasuvusaeg?



Joonis 6. Keskseadme oodatav tasuvusaeg

Figure 6. The expected payback time of central processing unit

Küsitluses osalenud inimeste teadlikkus börsihindadest on arvestades tänapäeval toimivat avatud elektrituru süsteemi üsna kehv. Ligi neljandik inimestest ei ole teadlik kodumajapidamises kasutusel oleva elektripaketi tüübist, mis viitas ka sellele, et ei olda kursis elektrihinna muutumisega ööpäeva lõikes. Börsihindadega kursis olevate inimeste osakaal kõigi uuringus osalenute seas oli 46%, kelle hulgast suur osa oli teadlikult valinud ka muutuvate elektrihindadega paketi. Siinkohal selgus ka asjaolu, et peaaegu kolmandik inimestest elab tarbimisharjumuste mõistes täielikus mugavustsoonis – kasutatakse elektriseadmeid alati vastavalt vajadusele, pööramata tähelepanu säästule ning elektrihindadele. Suurem osa tarbijatest on siiski avatud elektrisäästuvõimalustele, olles nõus erinevaid abinõusid ja tegevusi kasutusele võttes tarbimist teadlikult juhtima.

Uuringu tulemustest selgus ka, et 81% küsitluses osalenud erasektori tarbijatest on huvitatud kodumajapidamise elektritarbimist juhtiva seadme soetamisest.

JÄRELDUSED

Arvestades elektrienergia säästuvõimaluste teema aktuaalsust ning uuringutulemustes avaldunud erinevaid arvamusi, osutus kodumajapidamise elektritarbimist puudutav küsitlus uurimisvaldkonna edasist käiku silmas pidades väga kasulikuks. Kuna uuring näitas, et iga teine inimene pole kursis elektrihinna muutumisega börsil ning üldine tarbimine toimub juhuslikult, tuleb antud teemal inimestele palju teadvustada. Eeldusel, et inimeste teadlikkus börsil toimuvate elektrihinna kõikumiste kohta kasvab, on võimalik erinevaid abinõusid kasutusele võttes ning kodust elektritarbimist paremini planeerides igakuiseid kulutusi vähendada. Siinkohal ongi üheks võimaluseks elamusse soetada tarbimisplaani koostamist hõlbustav keskseade, mis aitab

kodust elektritarbimist suunata odavama börsihinna piirkondadesse. Käesolev artikkel keskendus peamiselt inimeste arvamuste ning teadlikkuse uurimisele ning selgus, et tarbimist juhtiva keskseadme vastu tuntakse tugevat huvi. Uuringule toetudes võib prognoosida, et eelmainitud seadme konstrueerimise ning erinevate arendustegevuste tulemusel töötab keskseade osutuda paljude kodumajapidamiste lahutamatuks osaks majandusliku säästu saavutamisel.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Raudjärv, R., Kuskova, L., Eesti Statistika, "Energiatarbimine kodumajapidamistes (Online)"[Online]. Kättesaadav: <https://www.stat.ee/dokumendid/68623> [Külastatud 1 04 2016]
- [2] Elering, "Eesti elektrituru täielik avanemine (Online)"[Online]. Kättesaadav: http://elering.ee/public/Elektriturg/Elektrituru_avanemine/elektrituru_brosuur_est_september.pdf. [Külastatud 1 04 2016]

Raspberry Pi computers in multicopters for geospatial data processing

J. Zalāns
zeilja@gmail.com

Rezekne Academy of Technologies, Faculty of Engineering,
Department of Computer sciences

Abstract. Geospatial data gathering is complex and time consuming process, which is affected by human errors. This problem can be solved by using “flying agents” – multicopters. A microcontroller has always been used for multicopter control, but gathering information during the flight and processing it in real time requires significantly more computing power. Here is where cheap Raspberry Pi can come in handy. This paper analyzes Raspberry Pi series single board computers hardware capabilities, defines hardware requirements for geospatial data gathering and estimates their usability in flying machines for geospatial data gathering and processing.

Key words: Raspberry Pi, geospatial data, multicopter control, data processing.

Päikesepaneeli pööramise mudeli juhtimine *Solar tracker management*

U. Lüpsik, V. Palge

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. In Estonia a southward orientation on a 40° angle is usually considered the best option for installing solar panels to capture as much sunshine as possible all year long.[1] The sun is faces the panel directly only for a short period of time each day. Additionally the sun is higher or lower in the sky depending on the time of the year. Solar tracking is necessary to increase the efficiency of the solar panel energy production up to 30–40%.[2] The solar tracker uses a motor to move and sensors to detect the position of the sun. A controller is needed to take the information from the sensors and convert it to movement of the motors. The controller is also responsible for delays, the speed of the movement and protecting the panel against strong wind. The most cost efficient way for an average consumer is using a microcontoller. To determine the best solution, several widespread boards - Arduino, Rassperry and BeagleBone – were compared. The best solution turned out to be the Arduino uno board, for its low cost, low energy consumption and reliability.

Key words: solar tracker, controllers, Arduino, solar panel, efficacy

SISSEJUHATUS

Järjest suurenev trend on päikesepaneelide paigaldus. Eestis on enamlevinud lahendus paigaldada päikesepaneelide lõuna suunas ja 40° nurga all, seeläbi on aasta keskmine tootlikkus kõige suurem.[1] Kohtkindlalt fikseeritud päikesepaneeli pinnale paistab päike otse vaid lühikeste aja jooksul päevast, kui lisada päikese asukoha muutused sõltuvalt aastaegadest, kannatab tuntavalt päiksepaneeli efektiivsus. Päikesejälgimissüsteemiga kasutatakse ära maksimaalne hommikune ja õhtune päike, mis muidu paneeli nurga alt ainult tabaks. Seda tüüpi süsteemi kasutades on võimalik paneelide tootlikkust tõsta kuni 30–40%. Päikesepaneeli pööraja kasutab liikumiseks mootoreid ja päikese otsimiseks andureid, anduritest saadud info muutmiseks mootorite juhtimiseks on vajalikuks signaaliks kontrolleri abil, mis juhib protsessi. [2]Protsessi juhtimise käigus on vajalik tekitada viivitus, et paneel ei liiguks iga valgussähvatuse peale, kontrollida paneeli liikumise kiirust vigastuste vältimiseks ja paneeli ohutusse tasapinda pööramine tugeva tuule korral. Kuna kontrolleri kasutatakse vähendatud mõõtkavas mudeli juhtimiseks siis tuleb valiku puhul arvestada hinna, töökindluse ja energiakuluga.

Uurimisülesandeks on erinevate mikrokontrollerite võrdlemise teel leida päikesepaneeli pööratismudeli juhtimise jaoks parim lahendus. Esitada valitud kontrolleri eelised. Samuti välja tuua mis muutused oleks vajalikud, et kontrolleriiga juhtida täismõõtmelist päikesepaneeli pöörajat.

MATERJAL JA METOODIKA

Kuigi kontrollereid on palju erinevaid tüüpe ning erinevates hinnaklassides siis uurimuses valiti võrdluseks mudeli ehituses kolm enim levinud mikrokontrolleri platvormi Arduino, Raspberry ja Beaglebone. Kõik kolm on kättesaadavad, võrdlemisi odavad ja sarnases mõõtkavas. Iga ühe positiivsete ja negatiivsete külgede paremaks mõistmiseks toome välja kõigi kolme lühikirjeldused.

Arduino UNO

Arduino platvorm on vabavaraline mikrokontroller. Kasutusel on Atmega328 mikrokontroller taktisagedusega 16 MHz, sisseehitatud *flash*mälu 32 KB ja staatiline muutmälu 2 KB. Arduino ei kasuta operatsioonisüsteemi, vaid tema tarkvara koosneb standardsest programmeerimiskeele kompilaatorist ja mikrokontrolleris olevast algladimise haldurist, ehk lihtsalt täidab etteantud koodi. Puudub ligipääs elementaarsetele operatsiooni süsteemi tööriistadele, kuid lihtsat koodi on võimalik täita ka ilma operatsioonisüsteemita. Programmeerimiskeeleks on kasutusel pisut muudetud ja lihtsustatud C++ keel. Arduino peamiseks ülesandeks on luua liides andurite ja seadmete vahel.

Seega on see hea lahendus projektides kus soovitakse lihtsalt väljundit vastavalt sisendile. Kuna puudub operatsioonisüsteem, siis puudub oht kokkujooksmiseks ja programmi täitmine algab hetkest kui sisse lülitada, pole vaja oodata süsteemi käivitumist. Arduino kasutus valdkondi on võimalik laiendada kasutades laiendusplaate Laiendusplaatide loetelu on väga pikk, enam levinud laiendusplaadid on mõeldud andurite laienduseks, võrguliidese jaoks ja SD kaardi lisamiseks. Oma lihtsa ehituse tõttu on Arduino madala energiatarbimisega. Toitepinge võib varieeruda 5–20 V vahel, kuid soovitav oleks 7–12 V. Selline suhteliselt lai vahemik võimaldab kasutada Arduinot aku toitel, kuna aku tühjenedes pingelang ei põhjusta olulisi probleeme töös. Plaat on varustatud 16 sisend-väljundviiguga millest kuus on sagedussignaali ja pulsilaiusmodulatsiooniga(PWM) andurite ja muu ühendamiseks kuid nende arvu on võimalik suurendada lisamooduli abil. Joonisel 1 on näidatud Arduino UNO[3][4]



Joonis 1. Arduino UNO Allikas [7]

Figure 1. Arduino UNO. Source: [7]

Raspberry PI2

Raspberry puhul on tegu täiesti funktsionaalse arvutiga, mida on võimalik HDMI liidese abil ühendada monitori või telekaga. Raspberry PI on kordades kiirema arvutus võimsusega kui Andurino, mis võimaldab sellel täita tunduvalt keerukamaid ülesandeid ja kasutada samaaegselt erinevaid programme, kuid Andurino suudab täita vaid üht programmi. Kasutusel on ARM1165JZF-s protsessor kiirusega 900 MHz muutmälu suuruseks on 512 MB. Sisseehitatud püsिमälu puudub, seda asendab SD kaardi pesa tänu millele saab sisestada vajaliku suurusega kaardi. SD kaarte vahetades on võimalik kiiresti ja lihtsalt muuta Raspberry kasutus valdkondi, näiteks katsetada erinevaid programme ja operatsiooni süsteeme. Peamine operatsioonisüsteemi platvorm on Linux. USB liides võimaldab kasutada Raspberry'l klaviatuuri ja hiirt ning suurendada mälu mahtu. GPIO pinide arv on 40. Heliedastuseks on standardne integreeritud audioväljund või HDMI. Programmeerimise keelteks soovitatakse peamiselt on Scratchi ja Pythonit. Võrguühenduse jaoks on seadme külge paigaldatud 1/100 Ethernet liides. Normaalseks talitluseks vajalik toitepinge on 5V. Voolutarve on tunduvalt suurem kui Arduinol ja seetõttu peab ta olema pidevalt ühendatud vooluvõrguga. Kasutades akut või patareid nõuab Raspberry tähelepanu, kuna on vägatundlik pingekõikumistele seal hulgas ka pingelangusele mis tuleneb aku tühjenemisest. Joonisel 2 on näidatud Raspberry PI2 mudel b.[4][5]



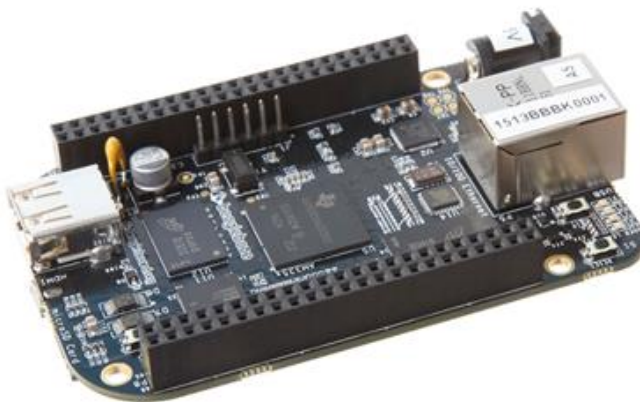
Joonis 2. Raspberry PI 2 mudel B. Allikas: [8]

Figure 2. Raspberry PI 2 model B. Source: [8]

Beaglebone Black

Beaglebone on neist kolmest ehk kõige vähem tuntud. Beaglebone on oma ehituselt väga sarnane Rasperryga. Beaglebone kasutab 1 GHz AM335x ARM Cortex-A8 protsessorit. Muutmälu suuruseks on 512 MB. Erinevalt konkurentidest omab Beaglebone 4 GB sisseehitatud mälu, mida on võimalik suurendada micro SD kaardi abil. Ühildavuse loomiseks on olemas USB pesa, mis võimaldab kasutada kõiki USB kaudu liidetavaid lisatarvikuid. . Pildi ja heli edastuseks on kasutusel HDMI liides. Võrguühenduse loomiseks on Etherneti liides. Sarnaselt Ardurinole on Beaglebone'il kasutusel analoog-digitaalmuundur, mis võimaldab kasutada laia ulatust andureid, kuid on suuteline palju kiiremateks ja täpsemateks operatsioonideks. GPIO

pinnide arv on 64. Saranselt Rasperryle on enim levinud operatsioonisüsteemina kasutusel Linuxi, kuid võimalik on ka androidi kasutamine. Progameerimis keelena on enimlevinud python. Energia tarve on küllaltki suur, ja vajades püsivat 5 V toidet. Beglabone on hea komplekt mõlemast, kui soovid Arduino kasutus mugavust ja Rasperry võimalusi graafiliseks väljundiks, info salvestamiseks ja edastamiseks. Joonisel 3 on näidatud Beglabone Black[4][6]



Joonis 3. Beglabone Black Allikas: [9]
Figure 3. Beglabone Black Source: [9]

TULEMUSED JA ARUTELU

Antud mikrokontrollerite võrdluse tulemusena, on selles projektis päikese paneeli juhtimiseks kõige sobivam Arduino UNO platvorm. Arduino on lihtsasti progameeritav, madala energiatarbega, odav ja väga tugeva kasutaja toega. Kuigi Arduino on tunduvalt väiksema suutlikkusega ja mälumahuga, pole antud projekti puhul määrav, kuna kasutatakse vaid üht programmi ning puudub vajadus visuaalse liidese jaoks. Tema laialdane tööpinge vahemik võimaldab kasutada akutoidet mis muudab mudeli kergesti eksponeeritavaks kõigis paikades. Erinevalt konkurendist Rasperry PI2 ei vaja Arduino täiendavat lisamoodulit analoog andurite signaali sisenditeks ja väljundiks, mis on vajalikud analooganduritega suhtlemiseks ja mootorite juhtimiseks. Beaglebone Black on küll tunduvalt võimekam kui arduino UNO ja omab analoog sisendeid väljundeid, kuid Beaglebone Black tunduvalt suurema hinna ja kehva kasutajatoe tõttu jääb antud projektis kasutamata. Rasperry ja Beglabone eelisteks on nende infoedastusvõimalused interneti teel, teostades andmehõivet paneeli efektiivsuse kohta. Kuid mudeli koostamisel ei ole andmehõive olulisel kohal ja seega ei ole põhjendatud ka tarbetult keerukama süsteemi kasutamine, mis võib põhjustada rikkeid.

Täismõõdus paneele juhtides tuleb arvestada mootorite tunduvalt suurema võimsusega mida ei ole võimalik juhtida otse plaadilt. Kuid arduino I/O pini 40 mA väljundi võimsus on piisav teostamiseks releelülitusi ja releesid kasutades ei ole arduino lülitus võimsus taksituseks ka täismõõdmetes paneelide juhtimiseks. Täismõõdmete korral tuleb kindlasti ümber arvestada viiteajad ja liikumis kiirused vastavalt

keskkonnale. Täismõõtmete korral on viite vajalikus väga oluline, kuna liiga tiheda liikumise korral kulutakse tarbetult palju energiat.

JÄRELDUSED

Mikrokontrollerid on igati õigustatud valik kasutamaks neid päikesepaneelide juhtimiseks. Nende madalast hinnast hoolimata on tegu väga suutlike seadmetega mis võimaldab paljutki korda saata. Projekteeritava päikesepaneeli pööramise mudeli juhtimiseks on mikrokontrolleritest kõige sobivam Arduino Uno. Peamiseks eeliseks on madal energiatarve, mis võimaldab akutoidet. Samuti laialdane toitepinge vahemik mis võimaldab tõrgeteta tööd. Operatsioonisüsteemi puudumine võimaldab kohest käivitumist ja muudab ta väga töökindlaks, kuna puudub oht operatsioonisüsteemi või programmi kokkujooksmiseks.

Täismõõtmetega paneelide juhtimiseks oleks mõistlikum kasutada Rasperry või Beaglebone platvormi, kuna tänu võrguühendusele on võimalik jälgida paneelide tööd reaalajas ning teostada andmehõivet paneeli efektiivsuse hindamiseks. Juhitava päikesepaneeli pööramise mudeli prototüüp on näidatud joonisel 4.



Joonis 4. Päikesepaneeli pööramise mudeli prototüüp

Figure 4. Solar tracker model prototype

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] EVS-EN ISO 6892-1:2010, Metallic materials -Tensile testing: Method of test at room temperature
- [2] EN ISO 6892-1:2009, Metallic materials -Tensile testing: Method of test at room temperature
- [3] ISO 3183, Petroleum and natural gas industries- Steel pipe for pipeline transportation systems
- [4] ISO 11960, Petroleum and natural gas industries- Steel pipes for use as casing or tubing for wells
- [5] ASTM A370, Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products
- [6] ASTM E8M, Standard test methods for tension testing of metallic materials
- [7] IACS W2, Test specimens and mechanical testing procedures for materials. In: Requirements concerning materials and welding. International Association of Classification Societies, London, 2003.

Patareitoitel sensorseadme arendus ja katsetus

The development and testing of a battery powered sensor device

A. Veenpere, J. Kalder

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract: This article describes the concept of a battery powered sensor device. At first, the requirements for the device were defined. According to that the electrical schematic and created PCB are described. In this article, the author has described the device, its different configuration abilities and uses. Measurements were conducted and calculations were done to figure out the power consumption and choice of battery. The methods, results and conclusions from the measurings are given. The requirements for the device are: low power consumption, compactness, the ability to connect sensors, and low price. The result is a low power consuming working device with a sensor, which has been defined as the sensor device. The outer measurements of the device are 25 x 40 mm and the power consumption in a certain configuration is 0,039 mA and the life expectancy of the battery chosen in this article is 67289 hours.

Key words: SENSOR, BATTERY POWERED, PCB, ATMEGA 328

SISSEJUHATUS

Kaasaja tehnoloogia kiirest arengust lähtuvalt on muutunud tavapäraseks nähtuseks, et elektrilise toitega tarbeesemed on tihti omavahel seotud digitaalsete infokanalitega. Ennustuse kohaselt on 2020. aastaks internetiga ühendatud rohkem kui 50 miljardit seadet. Käesoleval ajal on sagenemas internetti ühendatud seadmete arv, selle nähtuse kirjelduseks on kasutusele võetud mõiste *Internet of Things* ehk, IoT ehk "asjade internet". Seadmete internetti ühendamiseks on võimalik kasutada raadiosaatjatega varustatud mooduleid. Patareide ehitustehnoloogiate edasiarendused on viinud suurema mahtuvusega akude tootmiseni, kahandades sealjuures ka aku kabariitmõõtmeid. Elektriseadmete tootjad arvestavad juba seadme projekteerimisjärgus seadme juhtmevabade raadiomoodulitega varustamise võimalustega, millega oleks lõpptarbijal võimalik rakenduselt erinevaid, kuid andmeside poolest ühilduvaid seadmeid omavahel koostöösse lülitada. Uudne mõtteviis tehnoloogias kirjeldab potentsiaalseid muudatusi seadmete kasutuses, kus internetiga on ühendatud olemeelektronika ja muud seadmed mis vahetavad omavahel informatsiooni ning võimaldavad seeläbi tõsta kasutusmugavust. [1]

Artiklis kirjeldatakse kodujuhtimissüsteemi kuuluva sensoriga seadme (edaspidi sensorseade) arendust, kuna autoril on huvi ja põhjendatud rakendusvõimalus taolise seadme osas. Seadme juhtimine toimub vabavaralise juhtimiskeskonna Domoticz vahendusel. Katsete käigus loodi energiasäästlik patareitoiteline seade, mis töötleb ja edastab sensoritelt saadava info Domoticz keskkonda.

MATERJAL JA METOODIKA

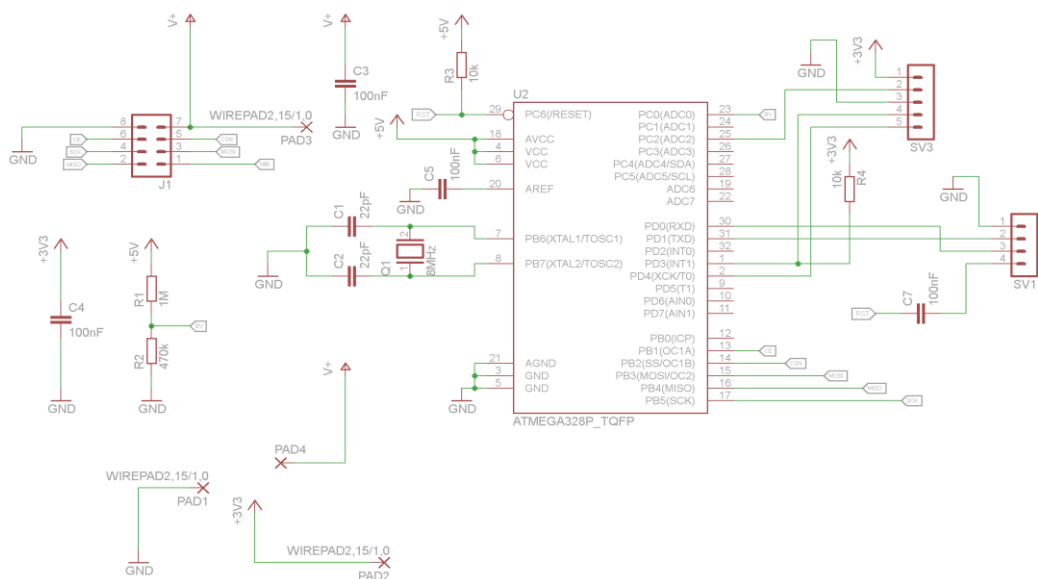
Eksperiment ehk katse on uurimismeetod, mis võimaldab testida püstitatud hüpoteese. Eksperimendi käigus toimub ühe sõltuva muutuja mõõtmise sõltumatute muutujate manipuleerimise abil. [2]

Uurimisobjektiks ning valmishitatud prototüübiks on temperatuurisensoriga seade, mille abil on võimalik reaalajas distantsilt mõõta ja jälgida soovitud keskkonna temperatuuri. Sensorseadme haldamist, kogutud info salvestamist ja temperatuurigraafikute kuvamist võimaldab veebiserverina töötav Domoticz. Infoliiklus sensorseadme asukohast A Domoticzs asukohta B on võimaldatud NRF24L01 2,4 Ghz raadiomoodulite vahendusel. [3]

Seadme väljatöötamiseks püstitati järgmised nõuded:

- 1) madal voolutarve ning 3,0 V patareitoide;
- 2) kompaktsus;
- 3) mitme sensori ühendamise valmidus;
- 4) madal omahind.

Esimese etapina valmis joonisel 1. kirjeldatud sensorseadme elektriskeem. Mikrokontrolleriks on Atmega 328, mis töötab 8 Mhz taksagedusel ning 3,0 V toitepingel. Mikrokontrolleri viigu PD3 külge on ühendatud TO92 korpuses temperatuuriandur DS18B20. Mikrokontrollerisse on laetud Arduino buudilaadur, mis võimaldab USB-st jadaliidesele ülemineku abil mikrokontrollerisse Arduino keskkonnas kirjutatud tarkvara pealelaadimist. Madal volutarve on saavutatud 8 Mhz välist ostsillaatorit kasutades ning programmiloogika alusel, et sensorseade on saatmisrežiimis ainult 6 korda tunnis või juhul kui mõõdetava keskkonna temperatuur on muutunud vähemalt 0,5 °C.



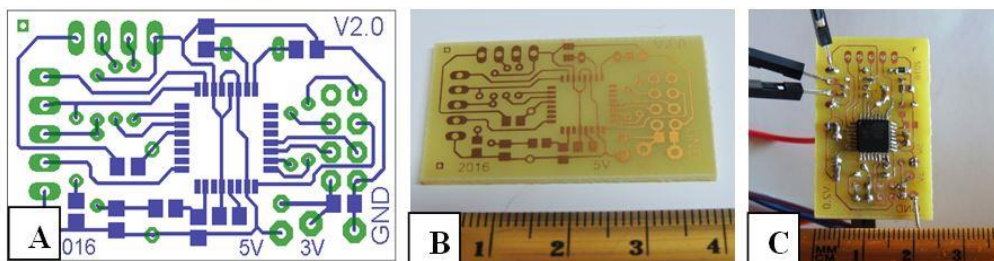
Joonis 1. Sensorseadme elektriskeem.

Figure 1. The electrical schematic of the sensor device.

Teise etapina projekteeriti EagleCAD keskkonnas sensorseadme trükkplaadi *layout* (joonisel 2. osa A). Trükkplaadile on välja toodud jootmiskohtadega mikrokontrolleri lisaviigud, mille külge saab joota lisa temperatuuri või muid sensoreid. Raadiomooduli toide saab olla vahemikus 1.9 - 3,6 V, sellest tulenevalt on raadiomooduli toitmiseks projekteeritud eraldi, mikrokontrollerist lahus olev toiteahe, samas on trükkplaadil valmidus 5 V toitepingega sensorite kasutuseks.

Kolmanda etapina valmistati füüsiline trükkplaat, mis tulenevalt kompaktsuse nõudest on mõõtmetega 40 x 25 mm (joonis 2 osa B).

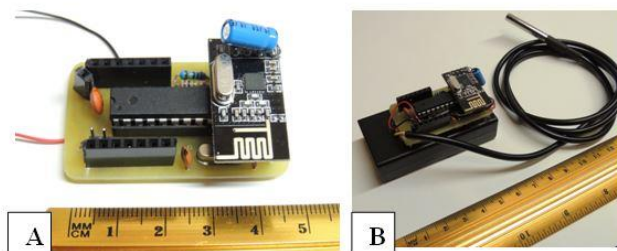
Neljanda etapina koostati füüsiline sensorseade, milleks joodeti valmissöövitatud trükkplaadile komponendid. Voolurajad asetsevad ühel pool plaati koos 0805 tüüpi korpuses takistite, kondensaatorite ning mikrokontrolleriga (joonis 2 osa C). Plaadi teisel poolel asetseb temperatuurisensor, kvartskristall ning SPI (*Serial Peripheral Interface*) vahendusel mikrokontrolleriga suhtlev raadiomoodul.



Joonis 2. Sensorseadme a) vooluradade skeem b) valmissöövitatud trükkplaat c) valmisjoodetud trükkplaat.

Figure 2. a) the bottom layer b) etched printed circuit board c) soldered printed circuit board of the sensor device.

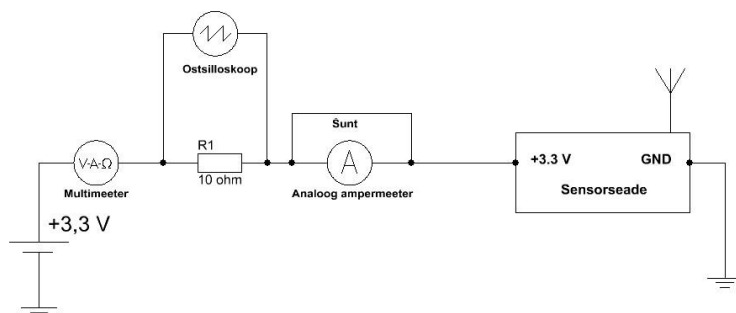
Enne, kui valmis pindmontaaži komponentidega trükkplaat, valmistati üks sensorseadme eksemplar ka läbiviigu komponentidega. Elektriskeem mõlema seadme versioonil on identne, peamiselt on erinevus trükkplaadi ja komponentide suuruses. Joonise 3 osas A on näha läbiviigu komponentidega seadme pealtvaade. Sinise elektrolüüt-kondensaatoriga element on raadiomoodul. Alloleva joonise B osas on näha musta karbi (akupanga) küljes olev sensorseade, mille külge on ühendatud musta värvi kaabel, mille otsas on temperatuuriproovik ning mille sees on DS18B20 temperatuurisensor.



Joonis 3. Sensorseadme läbiviigu komponentidega versioon.

Figure 3. The through-hole component version of the sensor device.

Valmishitatud sensorseadme reaalse voolutarbe leidmiseks oli vajalik läbi viia pingelangu mõõtmise katse. Katse sisuks oli mõõta ostsilloskoobiga takistil tekkivat pingelangu ning tulenevalt pingelangu väärtusest arvutada oomi seaduse järgi elektriahelat läbiv vool. Mõõtmiseks koostatud katseskeem on joonisel 4.



Joonis 4. Sensorseadme voolutarbe mõõtmise elektriskeem.

Figure 4. The electrical schematic for measuring the current of the sensor device.

Ostsilloskoobiga mõõdeti seadme oote- ja saatmisrežiimi toitevoolu tarbimise muutust takisti R1 otstel tekkiva pingelangu järgi. Ooterežiimis sensorseadme voolutarbe arvestamisel oli vajaliku pingelangu tekitamiseks skeemi ühendatud 20 kΩ takisti 10 Ω asemel. Mikrokontrolleri käivitusevool on 0,028 mA ning kestus 0,65 s. Saatmisrežiimi ajaline kestus 70 ms. Tarbitava voolu väärtus arvutati järgnevast seosest:

$$I = \frac{U}{R}, A \quad (1)$$

kus I on voolutugevus, A;
 U – pinge, V;
 R – takistus, Ω.

$$I = \frac{0,16}{20000} = 8 \mu A$$

Vastavalt mõõtmistulemustele on valemi (2) abil arvutatud sensorseadme keskmine voolutarve. Valemis taandatakse aeg ja tulemuseks saadakse vool.

$$I = \frac{(t_0 \cdot I_0 + t_1 \cdot I_1 + t_2 \cdot I_2)}{t_0 + t_1 + t_2}, A \quad (2)$$

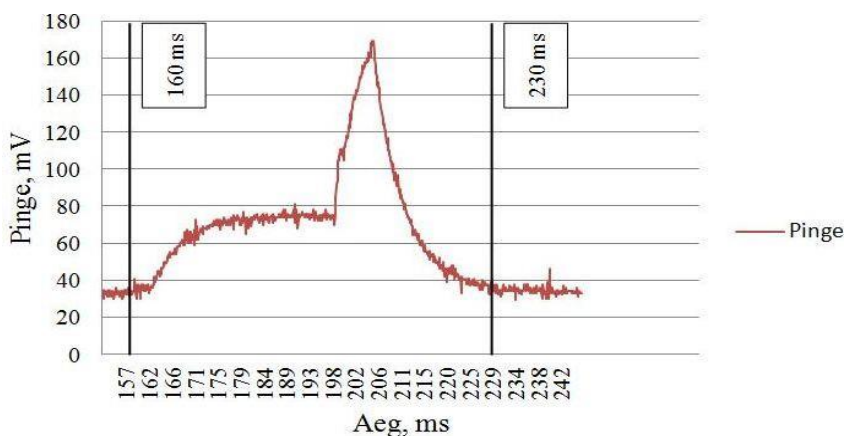
kus I on voolutugevus, A;
 t_0 – mikrokontrolleri käivituse aeg, s;
 I_0 – mikrokontrolleri käivitusel tarbitav vool, A;
 t_1 – saatmisrežiimi ajaline kestvus, s;
 I_1 – saatmisrežiimi vool, A;
 t_2 – ooterežiimi kestus saatmisrežiimide vahel, s;
 I_2 – ooterežiimi vool, A.

$$I = \frac{(0,65 \cdot 0,028 + 0,07 \cdot 0,00472 + 600 \cdot 0,000008)}{0,65 + 0,07 + 600} = 0,039 \text{ mA}$$

Valemi (2) vastuseks saadud 0,039 mA on sensoreadme keskmiselt tarbitava voolu väärtus, mille abil on võimalik arvestada keskmist energiakulu ajas.

TULEMUSED JA ARUTELU

Joonisel 5 on kirjeldatud joonise 4 elektriskeemi järgi ostsilliskoobiga mõõdetud takistil R1 tekkinud pingelangu muutuse graafik sensoreadme saaterežiimil. Mõõdetulemused joonisel 5 leiti sensoreadme sellises konfiguratsioonis kus seadmega oli ühendatud ilma antennivõimendita raadiomoodul. Joonisel 5 on märgitud 160 ms ja 230 ms ajateljele markerid mille vahele jääb saatmisrežiimis tekkinud voolutarbe hüppelise tõusu periood (70 ms), maksimaalse pingelangu väärtusega 168 mV.



Joonis 5. Mõõtmistulemuste graafik.

Figure 5. Results' graph.

Mõõdetulemused ning arvutuste väärtused on kirjeldatud tabelis 1. Ostsilloskoobiga mõõdetud sensoreadme keskmine voolutarve 70 ms saatmisperioodil ilma antennivõimendita raadiomooduliga oli 4,72 mA ning maksimaalne voolutarve 16,8 mA.

Tabel 1. Katse mõõdetulemused

Table 1. Results of the experiment

Nr.	Seadme konfiguratsioon	Mõõdetud U_{RMS}	U_{max}	I_{RMS}	I_{max}
1	Ooterežiim	160 mV (20 kΩ)	-	8 μA	
2	Võimendita saaterežiim	47,2 mV (10 Ω)	168 mV	4,72 mA	16,8 mA
3	Võimendiga saaterežiim	199 mV (10Ω)	520 mV	19,9 mA	52 mA

Juhul kui seadet toidavad kaks 1,5 V AAA tüüpi patareid, mille mahtuvus on 2557 mAh [4] siis üldistades on võimalik leida seadme patarei tööiga (x_{aeg}) järgnevalt:

$$x_{aeg} = \frac{Q}{I}, h \quad (3)$$

kus x_{aeg} on aeg, h;
 Q – mahtuvus, mAh;
 I – vool, mA.

$$x_{aeg} = \frac{2557}{0,039} = 67289 \text{ h}$$

Patarei teoreetiline tööiga on 67289 tundi ehk rohkem kui 7 aastat.

JÄRELDUSED

Seadme konstrueerimise alguses defineeriti seadmele esitatavad nõuded, mis projektis rahuldati täies mahus. Õnnestus elektriskeemi koostamine ning trükkplaadi projekteerimine ja madal seadme omahind tulenevalt komponentide vähesusest ja madalast hinnast. Valmishitatud seade on osa vabavaralisest kodujuhtimissüsteemist Domoticz. Seadmega saab ühendada erinevaid sensoreid, mille abil on võimalik keskkonna parameetreid monitoorida. Lisaks artiklis nimetatud temperatuurisensorile võib seadmega ühendada näiteks õhurõhu anduri, liikumisanduri või erinevate kontaktidega lüliteid mille abil saab realiseerida juhtmevaba turvasüsteeme. Erinevate süsteemide konstrueerimiseks tuleb sensorseadme mikrokontrollerisse laadida vastavasisuline programm. Artiklis kirjeldatud arvutustes võeti aluseks universaalne toitepinge 3,0 V ning ilma antennivõimendita raadiomooduli rakendamine, selle juures oli sensorseadme voolutarve 0,039 mA. AA tüüpi Duracelli MN1500 leelispatারেiga on arvutuslik tööiga 67289 tundi millest saab järeldada, et sensorseadme nimetatud patareiga toitmine on võimalik ning jätkusuutlik. Tõenäoline on, et joonise 1 elektriskeemi järgi koostatud sensorseade ning meetodikas kirjeldatud konfiguratsiooni järgi on seadme voolutarve niivõrd madal, et patarei loomulik tühjenemine toimub kiiremini kui seadme töövoolust põhjustatud patarei tühjenemine.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] P. van Kessel, "Cybersecurity and the Internet of Things," [Online]. Available: <http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-cybersecurity-and-the-internet-of-things/%24FILE/EY-cybersecurity-and-the-internet-of-things.pdf> [Accessed 03 04 2016].
- [2] K. Reedi, "Eksperimentaalsed uuringud – käitumisteaduste rakendamine turu-uuringute läbiviimisel," [Online]. Available: <http://www.emor.ee/eksperimentaalsed-uuringud-kaitumisteaduste-rakendamine-turu-uuringute-labiviimisel> [Accessed 03 04 2016].
- [3] Nordic Semiconductor, "Single chip 2,4 Ghz Transceiver" [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/RF/nRF2401rev1_1.pdf [Accessed 03 04 2016].
- [4] Duracell inc, "Alkaline-Manganese Dioxide Battery" [Online]. Available: http://www.professional.duracell.com/downloads/datasheets/product/Procell/Procell_AA_MN1500.pdf [Accessed 03 04 2016].

Pneumosõiduki andmehõive süsteem

Data Acquisition system of pneumatic vehicle

G. Truu, E. Jõgi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut

Abstract. Following article introduces data acquisition system of the pneumatic vehicle. In Hungary there is a competition where last eight years students have built a vehicle which energy source is 10 L and 20 MPa compressed nitrogen tank. One category of the competition is telemetry of the pneumatic vehicle. Telemetry system purpose is to collect and save vehicle sensors data. After the race collected data must be represented on graphic diagram.

Key words: Pneumatic vehicle, vehicle SCADA, Programmable logic controller, Wifi.

SISSEJUHATUS

Käesolevas ettekandetekstis on kirjeldatud pneumosõiduki andmehõive süsteemi. Andmehõive süsteemi loomise aluseks on Ungaris toimuv pneumosõidukite võistlus. Võistluse üheks kategooriaks on pneumosõiduki telemeetria süsteem. Telemeetria süsteemi tööpõhimõtteks on koguda ja salvestada suruõhu süsteemi paigaldatud andurite väärtuseid ning kogutud informatsiooni graafikul kuvamine.

Andmehõive süsteem on piiratud võistluse reeglitega. "Andmehõivesüsteem peab töötama reaalajas. Graafiliselt liideselt peavad olema loetavad viis graafikut, milleks on: kolvi liikumise aegdiagramm, kolvi positsiooni muutuse jõudiagramm, masina kiirus, kolvi liikumise kiirus, õhu kulu diagramm. Andmed peavad olema salvestatud *Microsoft Office 2007 Excel faili formaadis (.xls)*." [1]

MATERJAL JA METOODIKA

Pneumosõiduki andmehõive süsteem on loodud andurite väärtuste salvestamiskes. Andmehõive süsteemi ülesandeks on salvestada andurite väärtused ja luua erinevad graafikud suruõhu süsteemis toimuvate muutuste kohta võistluse ajal. Saadud andmete põhjal on hiljem võimalik hinnata masina võimekust suruõhu jõul liikudes.

Pneumosõiduki andmehõive süsteem koosneb järgmistest komponentidest:

1. Programmeeritav loogikakontroller
2. SCADA tarkvara
3. Wifi ruuter

Programmeeritava loogikakontrolleri ülesandeks on anduritelt kogutud teabe põhjal aktuaatorite juhtimine. Kontrolleri küljes on analoog sisend moodul, mille abil digitaliseeritakse andurite analoogsuurused digitaalväärtusteks. Aktuaatorite juhtimine toimub diskreet väljund mooduliga.

SCADA tarkvaraga kuvatakse mõõdetud andurite väärtuseid graafilisel liidesel (joonis 1.1), koostatakse graafikud, salvestatakse mõõdetud tulemused andmebaasi. SCADA tarkvaraks kasutatakse pneumosõiduki andmehõive loomisel *Inductive Automation* tarkvara tootja programmi *Ignition*.

Wifi ruuteri ülesandeks andmehõive süsteemis on distantühenduse loomine. Loogikakontrolleri ja arvuti vaheline suhtlus toimub Modbus TCP protokolliga.

Pneumosõiduki andmehõive süsteemi töötamine reaajas tähendab seda, et andurite väärtused peavad uuenema katkematult kindla aja tagant. Kui masina sõit algab, alustatakse andmete salvestamist ja kui sõit lõppeb, siis andmete salvestamine peatub.

Vastavat võistluse reeglitele peab SCADA süsteem salvestama järgmisi andmeid:

1. Kolvi liikumise aegdiagramm
2. Kolvi jõu diagramm sõltuvalt positsiooni muutusest
3. Masina liikumise kiirus
4. Kolvi liikumise kiirus
5. Öhu kulu diagramm
6. Mootori tööõhk

Kolvi liikumise aegdiagramm saadakse, kui mõõdetakse kolvi positsiooni ja salvestatakse positsiooni väärtus teatud aja tagant. Kolvi positsiooni väärtus mõõdetakse silindri korpuse külge kinnitatud lineaarse positsiooni anduriga. Lineaarne positsiooni andur on magnetandur, mis teab kolvi asendit terve käigu ulatuses ja asend jääb mällu ka toitepinge kadumisel.

Kolvi jõudiagramm sõltuvalt positsioonist saadakse, kui on teada kolvi pindala, mõõdetakse silindris olevat rõhku ja salvestatakse silindri positsiooni muutus. Sellest tulenevalt saab arvutuste teel (valem 1) leida kolvi pindalal rakenduva jõu. Kui salvestada jõu väärtused kindla positsiooni muutuse järel saame nõutud diagrammi.

$$F = p \cdot A \quad (1)$$

kus F on jõud, N
 p - rõhk, Pa
 A - kolvi pindala, m²

Masina kiiruse mõõtmine toimub relatiivse enkooderiga. Enkooderit kasutades saab ratta võlli nurga muutusega mõõtepunktid, mille hulga jagamisel ajaga saame nurkkiiruse. Teades ratta parameetreid saame nurkkiiruse teisendada ümber ühikusse m/s. Absoluutne enkooder tagab täpsema ja kiirema kiiruse mõõtmise võrreldes süsteemiga, kus kasutatakse keelreleid magnetit.

Kolvi liikumise kiiruse mõõtmiseks on tarvis teada silindri asukoha muutust ajas. Asukoha muutuse informatsioon saadakse kolvi asukoha andurilt. Kui mõõta asukoha muutust kindla aja tagant saame välja arvutada (valem 2) kiiruse.

$$V = \frac{s_1 - s_0}{t} \quad (2)$$

kus	V	on	kiirus, $\frac{m}{s}$
	s_1	-	uus positsioon, m
	s_0	-	eelmine positsioon, m
	t	-	aeg, s

Õhukulu diagrammi on võimalik saada kahel meetodil:

1. Anduriga õhuvoolu mõõtes
2. Arvutuslikul meetodil rõhkusid arvestamata

Täpseima tulemuse õhu hulga kohta saab kasutades õhuvoolu andurit. Lisaks õhuvoolu andurile on võimalik õhuvoolu hulk ajas leida ka arvutuslikul meetodil (valem 3). [2]

$$q = V \cdot A \quad (3)$$

kus	q	on	õhuvooluhulk, $\frac{m^3}{s}$
	V	-	silindri liikumise kiirus, $\frac{m}{s}$
	A	-	kolvi pindala, m

Mootori töö rõhku väärtus saadakse otse andurilt. Rõhu väärtust kasutatakse ka eel kirjeldatud parameetrite välja arvutamisel nt. silindris tekkiv jõud.

Pneumosõiduki telemeetria süsteemi toimimiseks on tarvis kontrolleri ja arvuti vahel luua juhtmevaba ühendus. Juhtmevaba ühendust on tarvis, et masina andmed võistlus sõidu ajal reaajas andmebaasi salvestataks. Telemeetria süsteemi moodustab kolm põhiseadet : arvuti, Wifi ruuter ja loogikakontroller.

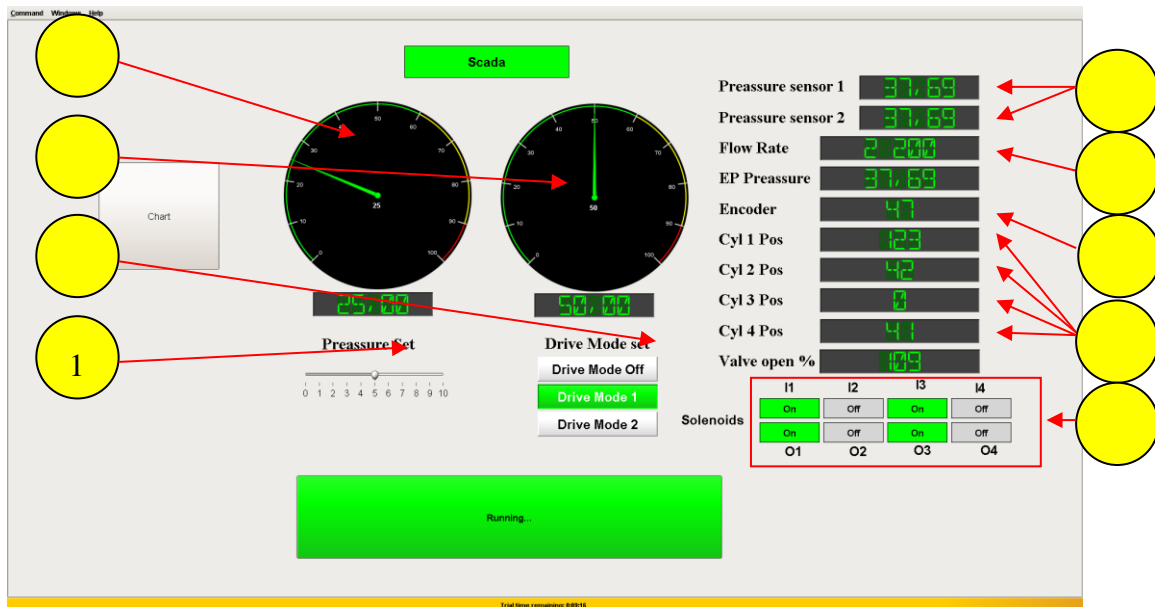
Arvuti on süsteemis andmete kogumiseks. Arvutisse on installitud SCADA tarkvara, mille abil luuakse ühendus loogikakontrolleri ja arvuti vahel. Loogikakontroller on seade, mis paikneb pneumosõidukis ja avaldab masinale juhtivat toimet vastavalt anduritelt kogutud informatsioonile. Kontrolleri külge ühendatud Wifi ruuter võimaldab andurite väärtusi ja aktuaatorite olekuid juhtmevaba ühendusega arvutisse saata.

Pneumosõiduki automaatjuhtimiseks on kasutusel mitmed andurid ja aktuaatorid. Sõiduki suruõhu kasutamise optimaalsuse hindamiseks on tarvis teada rõhku ja õhuvooluhulka. Masina mootori tüübi tõttu kasutatakse sõidukil ka absoluutenkoodeerit. Absoluutenkoodeeri ülesandeks on mootori võlli nurga väärtuse mõõtmine. Mootori võlli nurga väärtust on tarvis, lülitada õigeid pneumojaoteid. Pneumojaotite lülituse ajastus on tarvilik, et mootori võllile anda pöördliikumine.

Masina sõidu ajal loetakse nelja tüüpi andurite väärtuseid:

1. Rõhuandur
2. Silindri positsiooni andur
3. Absoluutenkoodeer
4. Relatiivne enkooder

Pneumosõiduki andmehõive süsteemi graafiline liides on loodud, et masina liikumise ajal kuvada reaajas graafikuid mõõdetavate parameetrite kohta. Lisafunktsioonina saab graafilises liideses vaadata andurite hetkeväärtusi, aktuaatorite hetkeolekuid ja masinat distantsjuhtida.



Joonis 1. Pneumosõiduki andmehõivesüsteemi graafiline liides
Figure 1. GUI of data acquisition system

SCADA süsteemi graafiliselt liideselt (joonis 1) on võimalik lugeda:

1. Masina liikumise kiirus
2. Mootori liikumise kiirus
3. Tõõrõhk
4. Teoreetiline õhuvooluhulk
5. Kolvi liikumise kiirus
6. Mootori võlli nurk
7. Pneumojaoite olek
8. Kolvi positsioon silindris
9. Sõidu režiim
10. Tõõrõhk

Graafilisel liidesel on kasutatud SCADA tarkvara poolt pakutud indikaatorite ja nuppude kujutised. Kujutistega on loodud SCADA rakendus, kus operaator saab masina rõhu ja sõidu režiimi seadistada ning andurite väärtusi lugeda. Operaator saab sekkuda masina juhtimisse, kui pneumosõiduki juht on lülitanud masina automaatrežiimile. Režiimi valik on tarvilik, et pneumosõiduki juhti tahtmatult segada ei saaks.

TULEMUSED JA ARUTELU

Pneumosõiduki andmehõive süsteemi peamiseks probleemiks on juhtmeta andmeside ühendus. Süsteem on üles ehitatud Wifi ruuteri baasil põhjusega, et loogikakontroller võimaldab üle Interneti protokollide andmeid saata. Wifi ruuterite probleemiks on lühike levimise distants ja ühenduse tugevuse langus kui teele jääb ette takistusi. Pneumosõidukite võistlusrajal on Wifi levi takistuseks haljastus. Haljastus varjab umbes 20% võistlusalast.

Probleemi lahendamiseks kasutatakse Wifi signaali tugevdamiseks vahepunkte (*access point router*) või Wifi signaali võimendamiseks antenni.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] IX. International Aventics Pneumobile Competition 2016, “Competition Rules,” [Online]. Available:
http://en.pneumobil.hu/content/download/8757/32236/file/Pneumobile_announcement_and_rules_2016_EN_V-2.pdf. [Accessed 2016].
- [2] The Engineering Toolbox, “Pneumatic Cylinder Velocity [Online]. Available:
http://www.engineeringtoolbox.com/pneumatic-cylinder-d_1299.html.

Elektroonilise koormuse analoogskeem

Electronic Load Analog Schema

S. Sulamägi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. This research paper describes an analog scheme of electronic load. The scheme uses MOSFET as changing resistor to achieve randomly changing current. The aim of this research paper is to introduce and analyse the operation of the analog circuit. At the end of this article test results are described and recommendations are made for further investigation.

Keywords: electronic load, MOSFET, current sense resistor, operational amplifier.

SISSEJUHATUS

Väga palju leidub Internetis kirjutisi ja videoid, kuidas värsked elektroonika huvilised on võtnud oma esimeseks projektiks valmistada elektroonilise koormuse, mille abil saab testida selliste toiteallikate nagu toiteplokk ja aku korrasolekut. Eesti Maaülikoolis oli samuti sarnane laboritöö, kus oli vaja tekitada muutuvat aktiivkoormust, kuid seal kasutati selleks hõõglampe. Antud artikkel käsitleb elektroonilise koormuse analoogskeemi osa kirjeldust ja analüüsi. Antud skeemis kasutatakse MOSFET-i kui muutuvat takistit, et saavutada juhuslikult muutuvat voolu. Kirjeldatakse ka valitud väljatransistorit ja šunti. Antud töös katsetati MOSFET-i IRF3710. Artikli eesmärgiks on tutvustada analoogskeemi ja analüüsida selle toimimist.

MATERJAL JA METOODIKA

Töö skeem on kujutatud joonisel 1. Skeem koosneb väljatransistorist Q1, operatsioonivõimendist U2A, digitaal-analoog muundurist (DAC) U1, kondensaatoritest C1, C2 ja C3, šundist R3 ning $8\ \Omega$ ja $2,2\ k\Omega$ takistitest vastavalt R1 ja R2. Operatsioonivõimendiks on LM324N ja digitaal-analoog muunduriks MCP4921 [1, 2]. MCP4921 puhul on tegemist 12-bitise digitaal-analoog muunduriga, mis on varustatud *SPI* (*serial peripheral interface*) jadaliidesega [2]. LM324N puhul on tegemist suure võimendusteguriga operatsioonivõimendiga, mis on disainitud töötama ühe-polaarse toiteallikaga laias pingevahemikus [1]. Takisteid R1, R2 ja kondensaatorit C2 kasutatakse tagasiside ahelas, et stabiliseerida operatsioonivõimendi tööd ja hoida teda ostsilleerimast. Kondensaatorit C3 kasutatakse madalpääs filtrina, et stabiliseerida operatsioonivõimendi sisendit ja välja filtreerida AC müra, mis võib sellel liinil eksisteerida [3]. Klemmide P1 ja P2 külge ühendatakse vastavalt katsetatava seadme „miinus“ ja „pluss“ juhtmed.

Joonisel 1 kujutatud analoogskeem töötab nii, et informatsioon saadetakse mikrokontrolleri MOSI nimeliselt viigult DAC sisendisse SDI. Edasi jõuab pinge DAC väljundist A operatsioonivõimendi U2A mitteinvertseerivale sisendile. Nüüd

operatsioonivõimendi võrdleb DAC-ilt saabuva pinge väärtust ja šundilt saabuvat pinge väärtust selleks, et teada, kui palju peab MOSFET-i avama, et operatsioonivõimendi mõlemal sisendil oleksid võrdsed pinged. Kui DAC-i väljundist saabuva pinge väärtus suureneb, siis operatsioonivõimendi leiab, et mitteinverteeriva sisendi väärtus on suurem, kui vooluahelas paikneva šundi pingelang. Seejärel suurendab operatsioonivõimendi oma väljundis pinget ja tänu sellele kasvab MOSFET-i paisu pinge. Selle tagajärjel kulgeb suurem vool läbi väljatransistori. See omakorda tingib pingelangu suurenemise šundil kuni see ühtib operatsioonivõimendi mitteinverteeriva sisendi pingega [3].

Joonis 1. Elektroonilise koormuse analoogskeemi osa [3]

Skeem on koostatud nii, et katsetatava vooluallika pluss klemm ühendatakse juhtme abil MOSFET-i neelu külge. Lätte külge ühendatakse röõbiti kümme ühevatisse võimsusega ühe-oomist takistit kogu võimsusega 10 W, et saavutada 0,1 oomine šundi takistus. Šundi teine ots ühendatakse vooluallika miinus klemmi külge. Vooluallikana kasutati toiteplokki Twintex TP-2305. Maksimaalne võimsus, mida skeem talub, sõltub MOSFET-ist ja šundist, kuid antud olukorras enamus soojusest eraldub väljatransistori peal, sest šundil eraldub maksimaalselt 10 W. Vooluallika pinget jääb katse käigus konstantseks ja kui nüüd reguleerida MOSFET-i avatust, muutes paisu pinget lineaarselt siis MOSFET töötab antud skeemi puhul nagu muudetava väärtusega takisti. Muutes takistust, muutub ka vool. Kui transistor on rohkem avatud, siis läheb temast ka rohkem voolu läbi, aga see vool tuleb vooluallikast, mida koormatakse MOSFETi abil. Selleks, et veenduda, kas elektrooniline koormus töötab, tuleb jätta voolutugevus konstantseks ja edasi reguleerida toiteallika pinget ning jälgida, kas voolutugevus püsib konstantsena või mitte. Antud elektroonilisel koormusel on oma pingevahemik, kus ta suudab määratud voolutugevust säilitada ja see sõltub kasutatavast väljatransistorist.

Katsete läbiviimisel seadistati toiteploki voolupiiraja 5 A peale, et vähendada riske kui peaks tekkima lühis, sest siis läheb toiteplokk voolupiiramise režiimi. Selle

abil sai ka kaitstud MOSFET-i. Kui šunti läbis 1 A suurune vool, siis pingelang oli šundil 0,1 V ja kui 5 A, siis oli pingelang šundil 0,5 V. Kui nüüd operatsioonivõimendi mitteinvertorivale sisendile rakendati näiteks pinge 0,1 V, siis operatsioonivõimendi tegi kõik, et tema invertorivas sisendis oleks samuti 0,1 V. See tähendas, et šundil olev pingelang oli samuti 0,1 V. Valemiga 1 on leitud pingelang šundil:

$$U_{\text{š}} = I \cdot R, \quad (1)$$

kus $U_{\text{š}}$ on pingelang šundil V;
 I – voolutugevus läbi šundi A;
 R – šundi takistus Ω [4].

Valemist 1 saab järeldada, et mida suurem on šundi takistus, seda suurem on pingelang šundil.

Valemiga 2 on leitud šundilt eralduv võimsus:

$$P_{\text{š}} = R \cdot I^2, \quad (2)$$

kus $P_{\text{š}}$ on šundilt eralduv võimsus [4].

Tabelis 1 on arvatatud 10 A voolu korral erinevate šundi takistuste juures šundil tekkinud pingelang, eralduv võimsus ja reguleerimisamm.

Tabel 1. Šundi takistus, vastav pingelang ja eralduv võimsus.

Table 1. Resistance of shunt, respective voltage drop and released power.

Vool, A	Šundi takistus, Ω	Maksimaalne pingelang, V	Võimsus, W	Tugipinge, V	Samm
10	1	10	100	10	1 mV = 1 mA
10	0,1	1	10	1	1 mV = 10 mA
10	0,01	0,1	1	0,1	1 mV = 100 mA

Tabelist 1 näeme, et mida suurem on šundi takistus, seda suurem on ka pingelang ning eralduv võimsus. Võimsus eraldub soojuse näol šundilt. Samas kui takisti väärtus on 0,01 Ω , siis pingelang jääb vahemikku 0...0,1 V, mida on raske hoida müra-st puhtana.

DAC tugipingeks sai valitud 1 V, sest siis on kaetud 10 A suurune piirkond kui šundi takistus on 0,1 Ω . Katsete käigus piirdui ainult 5 A, sest kasutatud toiteploki üks kanal andis maksimaalselt 5 A.

Katsetest selgus, et antud skeemi korral MOSFET-iga IRF3710 toiteallika väljundpingel 11,2 V sai toiteploki koormatud vahemikus 0...4,98 A, nii et elektrooniline koormus jäi terveks. Edasi kui voolutugevus jäeti konstantseks 2 A peale ja hakati toiteploki pinget reguleerima 1 V... 20 V-ni siis elektrooniline koormus suutis oma ülesannet täita. Hoides operatsioonivõimendi mitteinvertorival sisendil konstantset pinget ja samal ajal suurendades toiteallika väljundpinget, vähendas operatsioonivõimendi oma väljundpinget, et MOSFET-i rohkem sulgeda, selleks, et väheneks pingelang šundil ja invertoriva sisendi pingeväärtus muutuks võrdseks

mitteinverteerivaga. Tabelis 2 on toodud katses kasutatud MOSFET-i tehnilised parameetrid.

Tabel 2. MOSFET-i IRF3710 tehnilised parameetrid [5].

Table 2. MOSFET IRF3710 Electrical characteristics [5].

MOSFET	IRF3710
Neelu ja lätte vaheline pinge U_{DS} , V	100
Neelu ja lätte vaheline takistus $R_{DS\ ON}$, Ω	0,023
Maksimaalne neelu vool I_D , A kui $T_C = 25\ ^\circ\text{C}$	57
Maksimaalne paisu pinge $U_{G\ max}$, V	± 20
Paisu lävipinge $U_{G(th)}$, V	4
Maksimaalne võimsus P_{max} , W kui $T_C = 25\ ^\circ\text{C}$	200
Sisselülitus viivitus $t_{d(on)}$, ns	12
Tõusu aeg t_r , ns	58
Väljalülitus viivitus $t_{d(off)}$, ns	45
Languse aeg t_f , ns	47

Tabelist 2 on näha, et Q_1 temperatuuri peab suutma hoida madalana, et kindlustada 200 W tarbitava võimsuse. Jahutuse tagamiseks on MOSFET transistor kinnitatud radiaatori külge, mis aitab soojusel eralduda ja hoida võimsustransistori jahedana, et vältida tema läbi põlemist.

JÄRELDUSED

Soovitud voolootugevuse ja pinge suurim väärtus sõltub kasutatavast väljatransistorist. Edaspidi peaks katsetama teiste MOSFET-idega, et saavutada suuremat toiteallika pinget ning voolu.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] "LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers," Texas Instruments, 2000. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm124-n.pdf>. [Accessed 20 02 2016].
- [2] Microchip, "MCP4924/MCP4922 12-Bit DAC with SPI™ Interface," Microchip, 2004. [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21897a.pdf>. [Accessed 20 02 2016].
- [3] J. March, Digitally controlled, modular electronic load, San Luis Obispo: The Faculty of California Polytechnic State University, 2011.
- [4] W. Hill and P. Horowitz, The Art of electronics, 3rd ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2015, p. 1192.
- [5] "IRF3710," 2009. [Online]. Available: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3710.pdf>. [Accessed 03 03 2015].

Termopaaride keevitusseadme elektriline juhtimiskeem

Thermocouples welding device electrical control circuit

A. Lember

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. The aim of this article is to introduce welding method for fabricating thermocouples. The system is based on the capacitance discharge method. Capacitor charging voltage is controlled by a microcontroller. Varying the capacitor charging voltage makes possible to weld different sizes thermocouple wires. As a result it was found that the welding a $\varnothing 0,15$ mm wires together requires 2,03 joules of energy.

Key words: thermocouple, welding, boost converter, capacitor discharge.

SISSEJUHATUS

Termoelektrilised temperatuuriandurid on lihtsad ja laialdaselt levinud vahendid temperatuuri mõõtmiseks ja reguleerimiseks. Neid andureid võib veel nimetada termopaarideks (ingl: *thermocouple*) või termoelementideks. Termopaari tööpõhimõte tuleneb nähtusest nimega Seebecki efekt. Selle nähtuse avastas Thomas Johann Seebeck (1770 - 1831), kes oli eesti-saksa füüsik. [1, 2, 3]

Seebecki nähtuse kohaselt tekib ahelas elektromotoorjõud juhul kui kahe erineva metalli ühenduspunktide temperatuurid erinevad üksteisest. Tekkinud elektromotoorjõudu nimetatakse termoelektromotoorjõuks (termo-emj). Termo-emj. suurus sõltub juhtide materjalide valikust ja temperatuuride vahest kahe ühenduspunkti vahel. Kui ahel ühendada kokku ühest otsast ja teine ots jätta lahtiseks, siis on võimalik mõõta tekkivat termo-emj. voltmeetri abil. [1, 3]

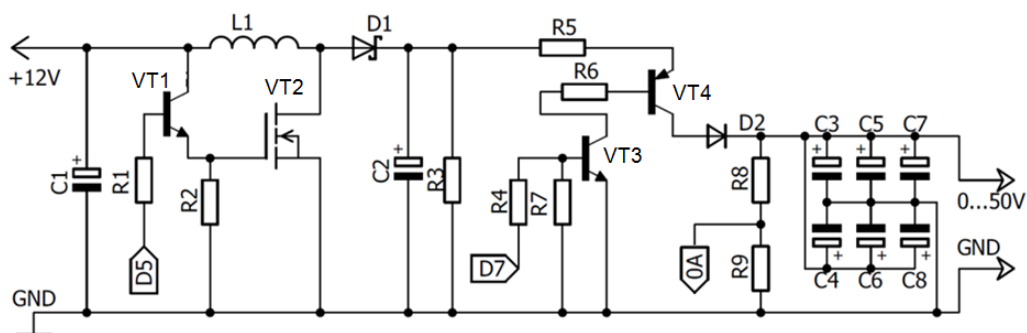
Käesolevas töös on uuritud ühte meetodit, mille abil oleks võimalik tekitada termopaari, selleks keevitades kokku kaks erinevast metallist juhti.

MATERIAL JA METOODIKA

Termopaarid on laialt levinud temperatuuri mõõtmise seadmed tänu oma madalale hinnale ja heale kättesaadavusele [4]. Tööstuslikult toodetavate termopaaride kõrval oleks odavam kasutada kahte erinevast metallist juhti ja need otsast kokku ühendada. Termopaari ise valmistades on võimalik valida mõõtmiste jaoks sobiv traadi läbimõõt ja sobiv termopaari pikkus.

Termopaaride valmistamiseks kasutatakse mitmeid valmistamisviise. Jäiga ühenduse tekitamiseks lihtsaim viis on jootmine. Jootmise käigus ühendatakse termopaari moodustavate traatide otsad pliijoodise abil kokku. Pliijoodisega ühendatud termopaari suurim töötemperatuur on kuni 150 °C. Kõrgemate temperatuuride korral kasutatakse hõbedat sisaldavaid joodiseid. Üks viis elektroodide kokku sulatamiseks on kasutada gaasikeevitust. Leegi abil kuumutatakse traatide otsad kuni nende sulamiseni. Lisaks kasutatakse ka elektrivoolu abil juhtide kokku sulatamist. [4]

Käesolevas töös on uuritud termopaaride valmistamist, kasutades elektrienergiat. Selle tarbeks koostati elektriskeem, mis võimaldaks kasutada salvestunud elektrienergiat termopaari elektrodide kokku sulatamiseks. Elektriskeem on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Termopaaride keevitusseadme elektriline põhimõtteskeem.

Figure 1. Thermocouples welding device circuit diagram.

Koostatud seadme tööpõhimõte on järgmine: kondensaatoritesse laetakse vajalik elektrilaeng, mida kasutatakse termopaari juhtide kokku sulatamiseks. Arvutuste ja katsetuste käigus on leitud, et optimaalne kondensaatorite pinge ja mahtuvus juhtide kokku sulatamiseks oleks 50 V ja 6000 μF . Nendel tingimustel on leitud järgmise valemiga suurim salvestunud energia kondensaatorites [5]

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 6000 \cdot 10^{-6} \cdot 50^2 = 7,5 \text{ J}, \quad (1)$$

kus W on salvestunud energia J;
 C – mahtuvus F;
 U – pinge V.

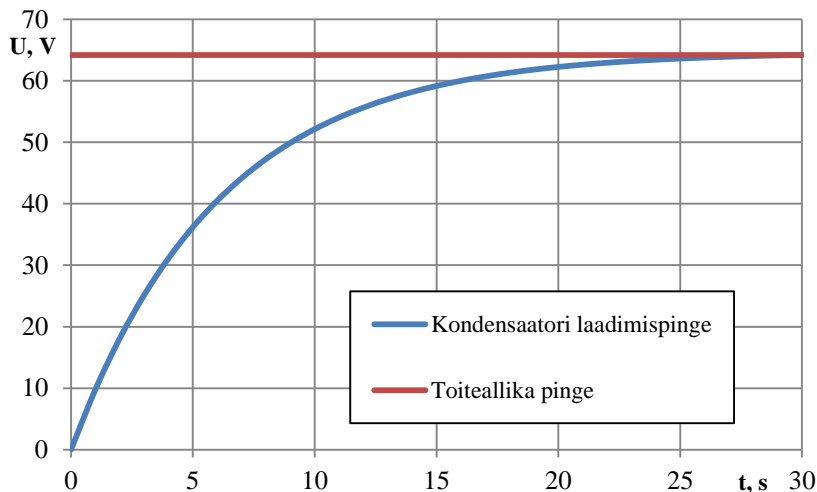
Kondensaatorite kogumahtuvuse 6000 μF ja laadimispinge 50 V korral on salvestunud energiahulgaks 7,5 džauli. Sellest energiast piisab 0,45 mm läbimõõduga traatide kokkusulatamiseks.

Seadme toitepingeks on võetud 12 volti. Laadimispinge 50 voldi jaoks on vaja toitepinget tõsta. Selleks on kasutatud tõstvat pingemuundurit (ingl: *boost converter*). Pingemuunduri komponentideks joonisel 1 on diod - D1, induktiivpool L1 ja transistor VT2. Mikrokontrolleriga lülitatakse transistorit suurel sagedusel (sisend D5), mille tulemusena liigub induktiivpooli salvestunud energia läbi diodi ja salvestub kondensaatoris C2. [6]

Transistorite VT3 ja VT4 abil kontrollitakse energia hulka, mis laetakse kondensaatorpatareisse C3 – C8. Kondensaatorpatarei moodustavad 6 rööbiti ühendatud kondensaatorit, mille igaühe mahtuvus on 1000 μF ja suurim lubatud pinge on 100V. Transistorite juhtimist (sisend D7) ja kondensaatorite pinge mõõtmist (väljund A0) teostab mikrokontroller ATmega328. Pinge mõõtmiseks alandatakse pinget läbi pingejaguri (R8 ja R9) suhtega 1:11. Vastavalt termopaari juhtide läbimõõdule valitakse pinge, mis laetakse kondensaatoritesse.

TULEMUSED JA ARUTELU

Katseliselt tehti kindlaks, et kondensaatorpatarei laadimise ajakonstant on 6,1 sekundit. Peale viite ajakonstanti saavutatakse pingeks 99,3% toitepingest, ehk 64,3 volti. Kondensaatori laadimiskõver on joonisel 2.



Joonis 2. Kondensaatorpatarei laadimiskõver.

Figure 2. Capacitor charging curve.

Katsetuste käigus leiti, et termopaaride valmistamiseks pole vaja suuremat pinget kondensaatorites kui 50 volti. Mikrokontroller ei lase pingel tõusta üle lubatu. 50 V pinge saavutatakse vastavalt graafikule ja katsetuste tulemusena üheksa sekundiga.

Keevituskatse käigus leiti, et läbimõõduga 0,15 mm juhtide kokku keevitamiseks piisas pingest 26 volti. Vastavalt valemile 1 oli salvestunud energiahulk 2,03 džauli. Keevitatud termopaar on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Keevitatud termopaar.

Figure 3. Welded thermocouple.

Jooniselt 3 on näha, et keevituskatse tulemusena tekkis tilgakujueline liitekoht, mis ühendab mõlemat juhti. Elektroodid on galvaaniliselt ühendatud ja valmistatud termopaari saab kasutada temperatuuri mõõtmiseks.

JÄRELDUSED

Artiklis kirjeldatud seadeldis keevitab edukalt kokku termopaari elektroode. Joonisel 1 toodud skeem töötab. Katsetulemustest selgus, et läbimõõduga 0,15 mm juhtide kokku keevitamiseks oli tarvis laadida kondensaatorid pingeni 26 volti, mille juures oli salvestunud energiahulgaks 2,03 J.

Antud skeem ei sisaldanud ohutut kondensaatorite tühjakslaadimise võimalust. Tühjakslaadimine peaks toimuma ohutuse tagamiseks olukorras, kus kondensaatorid on täis laetud ja seadeldis lülitatakse välja. Lisaks võiks väljundisse panna relee, mis ei lubaks enne seadepinge saavutamist teostada keevitustoimingut.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Kokin, E. (2003). Mõõtmised, andmetöötlus ja mudelid põllumajanduses. Tartu: EPMÜ. 382 lk.
- [2] Duff, M., Towey, J. (2010). Two Ways to Measure Temperature Using Thermocouples Feature Simplicity, Accuracy, and Flexibility. – *Analog Dialogue*. Vol. 44 No.10, pp. 1-6.
- [3] Ingermann, K. (2009). Temperatuuri mõõtmine. Tallinn: TTÜ Kirjastus. 147 lk.
- [4] Tiikma, T. (2000). Soojusfüüsika. Valitud peatükke. Tallinn: TTÜ. 102 lk.
- [5] Rosin, A., Link, S., Drovtar, I. (2013). Energiasalvestid ja salvestustehnoloogiad. Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonetele Osa II. Tallinn: TTÜ. 58 lk.
- [6] Raghavendran, S, Babu, B, & Piegari, L. (2015). Analysis, Design and Experimental Validation of Modified Simple Soft Switching DC-DC Boost Converter. – *International Journal Of Emerging Electric Power Systems*. Vol. 16, No. 4, pp. 331-337.

Kliimakambri soojusvahetusprotsesside analüüs programmi SciLab`i abil

Analysis of heat flow processes in the Climate Chamber using SciLab

J. Koger, V. Palge, E. Jõgi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. One way to start building the Climate Chamber is creating the chamber model in SciLab 5.5.2. After determine the thermal resistance of materials it is possible to compile the electrical scheme. Finding out the necessary components, materials and adding them into the program gives many opportunities to analyze the climate chamber heat flows. Various test with different test specimen can be easily made. Thus the material heat capacity it is possible to analyze model dynamically. Model allows to simulate heat flow processes in time and the duration of the experiment can be also measured.

Key words: Climate Chamber, SciLab, thermal transmittance, modelling, electrical circuit, construction material testing.

SISSEJUHATUS

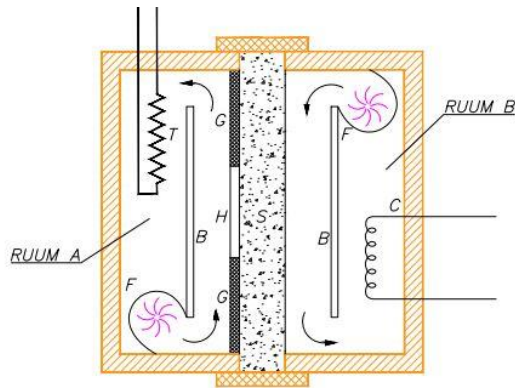
Lisaks levinud ehitusmaterjalidele (tellis, betoon, vahtplast, kips) on võimalik hooneid ehitada ka mitmetest muudest materjalidest. Kuusalu vallas, Kolga külas on valmimas Eesti esimene kortermaja, mille seinad on valmistatud pilliroost ja viimistlusena kasutatud savikrohvi [1].

Võttes valmivas hoones kasutusele uusi ehitusmaterjale, siis kulub üldjuhul mitmeid kuid või isegi aastaid enne kui saab hinnata, milliste soojustehniliste omadustega on materjal. Selleks, et vältida ajamahukaid katsetusi ja mõõtmisi, on võimalik luua kliimakamber, kus katsekeha paigaldatakse kahe kambri vahele, ning kambrites luuakse vajaminevad keskkonnatingimused.

Antud uurimistöö eesmärgiks on luua kliimakambri elektriline aseskeem SciLab`i Xcos modelleerimise keskkonnas, mis võimaldaks hinnata nii kliimakambri soojusvoolusid läbi silikaattellisest katseseina kui ka kliimakambri välispiirete.

MATERJAL JA METOODIKA

Kliimakambri loomisel tuleb arvestada, et kliimakambri ehituse metoodika oleks üheselt mõistetav ja kamber oma mõõtmelt mahuks selleks ettenähtud ruumi. Ehituse metoodika seisukohalt lähtutakse standardist EVS-EN 1934:1999. Standard esitab põhimõtted ja kriteeriumid, mida tuleb järgida piirdetarindi püsiva soojusülekanne omaduste laboratoorseks määramiseks kliimakambris. Samas ei esita standard konkreetset konstruktsiooni ja aparatuuri, sest nõuded ja töötingimused on sageli liiga erinevad. Kliimakambri põhiplaani (joonis 1) on kõrgema temperatuuriga ruum vasakul pool (ruum A) ja madalama temperatuuriga ruum paremal pool (ruum B).



Joonis 1. Kliimakambri põhiplaan: B – tõkesti, C – jahutusspiraal, E – serva isolatsioon, F – ventilaator, G – kaitsepiire, H - soojusvoo mõõtur, S – katsekeha, T – elektriline soojendi [2]

Figure 1. Plan of the Climate Chamber: B – baffle, C – cooling coil, E – edge insulation, F- fan, G – guard sheet, H – heat flow meter, S – specimen, T – electric heater [2]

Elektrilise aseskeemi koostamise aluseks on sarnasused soojuslevi ja elektrialhelates toimuvate protsesside vahel. Mõlemal juhul vajalik esmalt liikmapanevat jõudu. Soojuslevi korral on see temperatuuride erinevus, kus soojusenergia liigub kõrgema temperatuuriga ruumipunktist madalama temperatuuriga ruumipunktide suunas. Elektrialhelates on liikumapanevaks jõuks potentsiaalide erinevus, mis põhjustab elektronide liikumise kõrgema potentsiaaliga punktist madalama potentsiaaliga punkti suunas. Kui elektrialhelas toimub elektronide liikumine mööda kindlat juhti, siis soojuslevi korral toimub soojuslevik läbi ruumi keskkonna ja piirete tarindite. Selleks tuleb võimalikult täpselt paika määrata kõikide piirete termilised takistused ja dünaamika uurimiseks kõik soojusmahtuvused [3].

Soojusülekandetakistused kliimakambris on arvatatud järgmise valemiga: [3]

$$R_{term} = \frac{1}{S \cdot \alpha_{välis}} + \frac{1}{\frac{S \cdot \lambda_1}{\delta_1}} + \frac{1}{\frac{S \cdot \lambda_2}{\delta_2}} + \dots + \frac{1}{\frac{S \cdot \lambda_n}{\delta_n}} + \frac{1}{S \cdot \alpha_{sise}} = \quad (1)$$

$$= R_{term,välis} + R_{term,1} + R_{term,2} + \dots + R_{term,n} + R_{term,sise}$$

kus	R_{term}	on	piirdetarindi kogu soojustakistus ($m^2 \cdot K$)/W;
	R_n	–	osaline soojustakistus ($m^2 \cdot K$)/W;
	S	–	piirdetarindi pindala m^2 ;
	α_n	–	soojusülekandetegur W/($m^2 \cdot K$);
	λ_n	–	materjali soojusjuhtivustegur W/($m \cdot K$);
	δ_n	–	piirdetarindi paksus m.

Soojusmahtuvused kliimakambris on arvatatud järgmise valemiga: [3]

$$C_{piire} = V \cdot \gamma \cdot c \quad (2)$$

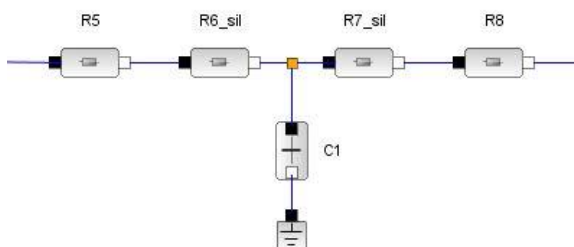
kus C_{piire} on piirdetarindi kogu soojusmahtuvus J/K;
 m – piirdetarindi mass kg;
 c – materjali erisoojus J/kg·K.

Modelleerimiseks valiti katseobjektiks silikaadist valmistatud piirdetarind, mille soojustehnilised andmed on antud tabelis 1 ning selles toimuvate dünaamiliste protsesside modelleerimiseks koostatud elektriline aseskeem joonisel 2.

Tabel 1. Silikaadi soojustehnilised andmed [4]

Table 1. Technical data of silicate brick [4]

Tihedus, kg/m ³	Soojusjuhtivus, W/(m·K)	Erisoojus, J/kg·K
1850	1,04	0,84



Joonis 2. Katseseina elektriline aseskeem: R5 – soojustakistus ruumi A õhust seina pinnale, R6_sil – ½ silikaadi soojustakistus, R7_sil – ½ silikaadi soojustakistus, R8 – soojustakistus seina pinnalt ruumi B õhku, C1 – seina soojusmahtuvus

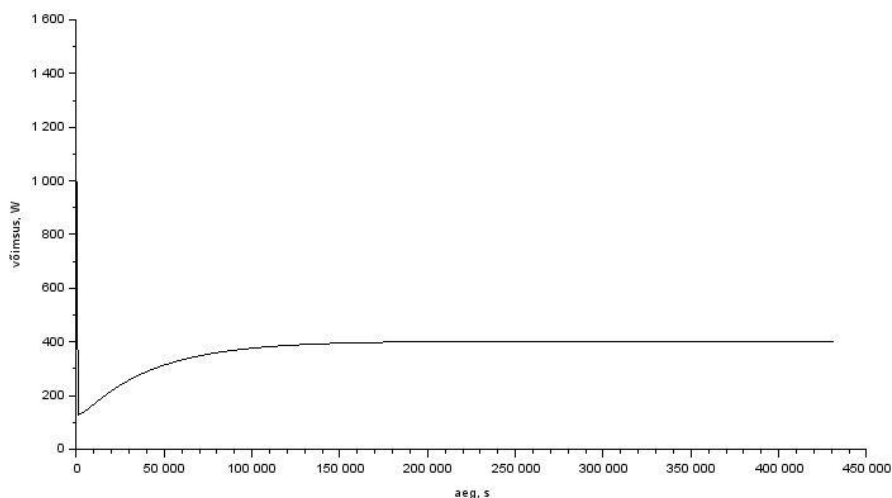
Figure 2. Electric scheme for silicate brick wall: R5 – heat resistance from room A to wall surface, R6_sil – ½ silicate brick heat resistance, R7_sil – ½ silicate brick heat resistance, R8 – heat resistance from wall to room B, C1 – heat capacity of wall

Katse käivitamiseks on määratud järgmised keskkonnatemperatuurid: kambri soojema poole (ruum A) temperatuur $t_1 = 25$ °C, kambri jahedama poole (ruum B) temperatuur $t_2 = -25$ °C, kambrit ümbritsev temperatuur $t_3 = 20$ °C.

Kolme ruumi osas arvestatakse, et tegemist on siseruumidega. Lisaks, kuna kambrites olevad õhuvoolukiirused ei ole paika määratud, siis arvestatakse, et soojusülekandevegur on kõigil kolmel ruumil samaväärne $\alpha_1 = 6$ W/(m²·K). Eeldatakse, et soojusülekandevegurid lae pinnal on 30% suurem ja põrandatel 30 % madalam.

TULEMUSED JA ARUTELU

Piirdetarindi püsitemperatuuri saavutamiseks osutus sobivamaks ajavahemikus 5 ööpäeva. Kliimakambri soojema ruumi (ruum A) küttevõimsuseks kujuneb ligikaudu 400 W (joonis 3).

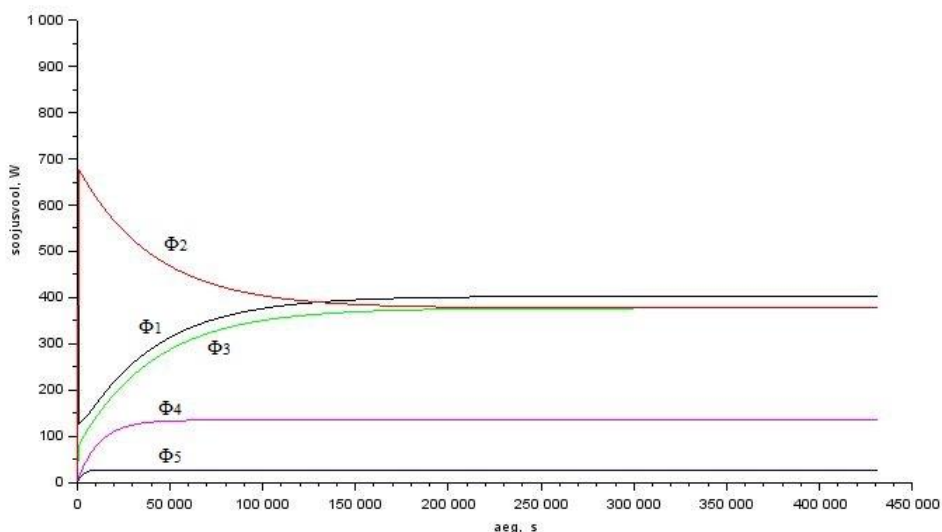


Joonis 3. Kliimakambri küttevõimsus.

Figure 3. Climate Chamber heating power

Protsessi alguses toimub ruumi maksimaalne kütmine etteantud temperatuurini, mida kujutab piik joonise 3 algusosas, millele järgneb sujuv reguleerimine kuni soovitud temperatuuri saavutamiseni. Stabiliseerumine saabub peale kolmandat ööpäeva (200 000 s). See tähendab, et erinevate piirdetarindite katsetamised on aeganõudvad protsessid.

Kliimakambri soojusvoolud on kujutatud joonisel 4.



Joonis 4. Kliimakambri soojusvoolud: Φ_1 – kogu sisestatav soojusvool, Φ_2 – katseseinast lahkuv soojusvool, Φ_3 – katseseina sisestatav soojusvool, Φ_4 – läbi ruum B välispiirete liikuvad soojusvood, Φ_5 – läbi ruum A välispiirete liikuvad soojusvood.

Figure 4. Heat flow of climate chamber: Φ_1 – total heat flow, Φ_2 – heat flow from test wall, Φ_3 – heat flow to test wall, Φ_4 – heat flow from room B boundaries, Φ_5 – heat flow from room A boundaries.

Kliimakambri ruum B-s tekib olukord, et suur osa soojusest levib ümbritsevast ruumist kliimakambris Φ_4 , sest seina pindala võrreldes katseseinaga on neli korda suurem Selleks, et sisenevate soojusvoogude hulka vähendada, siis lisatakse ruumile kahekordne soojusisolatsioon (200 mm vahtplast).

Jooniselt 4. selgub, et kuni teise ööpäeva lõpuni (172 800 s) toimub katsekeha jahtumine, sest Φ_2 näitab katseseinast lahkuvat soojusvoolu. Katsekeha stabiliseerumine toimub hinnanguliselt kolmandal ööpäeval, kui seinast lahkuv soojusvool Φ_3 võrdub seina siseneva soojusvooluga Φ_3 .

Katsetulemused annavad võimaluse hinnata, kui võimas küttekeha peab olema ruum A-s ja lisaks võimaldab hinnata katse ligikaudset toimumisaega.

JÄRELDUSED

Võttes arvesse soojusvoolusid, mis lahkuvad ruum A-st läbi välispiirete ja katseseina, siis kogu sisestatav soojusvoog on nende kahe lahkuva soojusvoo summa. Piirdematerjalide katsetamisel tuleb arvestada, et sõltuvalt materjali soojustehnilisest omadustest võib katsekeha stabiliseerumine võtta aega mitmeid päevi. Ruum A vajalikuks küttevõimsuseks silikaatseina korral on 400 W, mis tähendab, et kuni 1 kW küttekeha võiks rahuldada kliimakambri küttevajaduse. Täiendavalt on vaja uurida ruum B soojusvoolusid. Leida vajaminev kompressori võimus, et saavutada soovitud temperatuure.

KIRJANDUS

- [1] Tohver, A. (2016). Kolgal valmib pilliroost ja savist kortermaja. - Harju Elu. [e-ajakiri] <http://www.harjuelu.ee/2016/04/6301/kolgal-valmib-pilliroost-ja-savist-kortermaja/> (22.03.2016).
- [2] EVS- EN 1934:1999 Hoone soojustamine. Soojataksituse määramine kliimakambris soojavoomõõduri abil. Müüritis. Tallinn: Eesti Standardikeskus. 27 lk..
- [3] Palge, V. (2008). Soojusleviprotsesside modelleerimine Scilab'i keskkonnas. Eesti Maaülikool, Tallinna Tehnikaülikool, Tartu, Tallinn. 94 lk.
- [4] Liiske, M., Hovi, M., Lepa, J., Palge, V. (1998). Soojusprotsesside matemaatilised mudelid ja energiakulu. Tartu: Eesti Põllumajandusülikool. 87 lk.

Ergonomic working environment risks and improvement of employee well-being in bookselling organization

I. Kantane¹, H.Kalkis²

¹ University of Latvia, Faculty of Chemistry, Occupational Safety and Expertise Studies

² Riga Stradins University, Faculty of European Studies, Institute of Occupational Safety and Health

Abstract. The aim of the research is to assess ergonomic risks in organization operating in retail industry and determine the effects of these risks on employees' key performance indicators. Employees are exposed to several risk factors simultaneously, so each separate risk factor can increase the effect of other risk factor. Employees are exposed to the following ergonomic risks: static workload, monotonous work load, forced working postures, physical overload during lifting and moving of heavy objects etc. The occupation requests high concentration and high responsibility. Employees are exposed to an average level of stress and at the end of the day they feel fatigue. Increased fatigue can be observed on employees whose everyday routine contains more physical work. It is confirmed by the analysis of work performance indicators, that ergonomic risks at work significantly impacts the well-being and productivity of employees. On the other hand well-equipped work places and the division of work decreases ergonomic risks and increases well-being and productivity of employees.

Key words. Ergonomics; retail, productivity, well-being, employees, risk factors, improvement

INTRODUCTION

Nowadays the daily life of any human cannot be imagined without products, services, everyday shopping, and shopping malls. But probably only a few people comprehend that a regular retailer employs a large number of people including senior employees with significant experience in the industry and junior employees who often combine the work with studies. As the retailing industry has grown significantly over the past years now it employs every seventh person out of whole working population.

The retailing industry is not typically associated with high risks and serious accidents; however employees working in both retail and wholesale are exposed to several working environment risk factors which can harm the health and safety of employees.

In retail industry employees have much more duties than only working at cash registers and giving consultations to customers. Retail industry includes much broader perspective – office work and work in warehouses. Employees are exposed to prolonged forced working postures and moving of heavy objects. Often regular duties are related to work with chemicals and chemical fumes from production itself.

Employees are exposed to several risks factors simultaneously, so each separate risk factor can increase the effect of other risk factor. For example executing duties that require precision increases tension of sight (e.g. work with cash register systems) and it is more likely that sight disturbances such as so called dry-eye-

syndrome will develop for these employees. Often employees suffer from tension in cervical spine which can cause both pain in neck and headache.

Ergonomic risk factors are selected for the research because they cause work-related health problems that develop over a long period of time and at a later age. This is the reason why there is a rapid increase of frequency and proportion of occupational diseases in total morbidity. Diseases caused by various ergonomic occupational risk factors exceed more than a half of total occupational diseases registered. In a research carried through 2012-2013 on the working conditions and risks in Latvia it was concluded, that the muscular, skeletal and connective tissue diseases, caused by ergonomic risk factors, are the most common occupational diseases groups. [2]

Nowadays more and more organizational managers connect business goals directly with well-being of their employees. Ergonomics is a scientific discipline focusing on establishment of employee health and well-being as well as increase of productivity connected with interaction of human, work and environment. [2]

Development, implementation and maintenance of qualitative occupational safety system concerning ergonomic work conditions improve quality of life and well-being of employees. Correctly arranged ergonomic workplace increases productivity, decreases number of accidents and number of occupational diseases, which leads to increased and more stable profitability for the company. This is why it is necessary to identify ergonomic risks and to carry out preventive events to improve working places and decrease risks. [3; 4; 5]

Currently there are no researches concluded on effects of ergonomic risks on well-being and productivity of employees occurring in retail industry. The subject of the research is one of the biggest booksellers in Latvia employing more than 300 employees with retail stores in all major cities of Latvia and sales point in internet as well. There are 36 retail stores in total, warehouse and wholesale operations which allow conducting research on wide range of places and positions.

The aim of the research is to assess ergonomic risks in organization operating in retail industry and determine the effects of these risks on employees' key performance indicators.

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out on 80 employees working in sales unit aged from 22 years to 65 years, 25 office employees aged from 20 years to 60 years, 25 warehouse employees aged from 25 years to 55 years. The following research methods were used – employee survey on the assessment of work environment risks [6], ergonomic load assessment, working stress index, and work performance indicator analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Bookstore employees are exposed to the following ergonomic risks: static workload, monotonous work load, forced working postures, physical overload during lifting and moving of heavy objects etc.

Stress index analyses revealed that employees are exposed to an average level of stress (II degree of risk) and at the end of the day 60% of feel fatigue.

Increased fatigue can be seen in positions which are more connected with physical workload. This is also confirmed by the performance indicator analysis, which suggests that the ergonomic risks in the workplace have a significant impact on well-being and productivity of employees.

Increased fatigue can be observed on employees whose everyday routine contains more physical work. It is confirmed by analysis of work performance indicators, which allows to draw a conclusion that ergonomic risks in work significantly impacts the well-being and productivity of employees.

During working day there is an increased exposure on shoulders and lower back (38.9% of employees), as well as on legs and arms (23.8% for each body part). The physical load causes pain in back and arms. The least exposed body parts are palms and fingers (please refer to Figure 1).

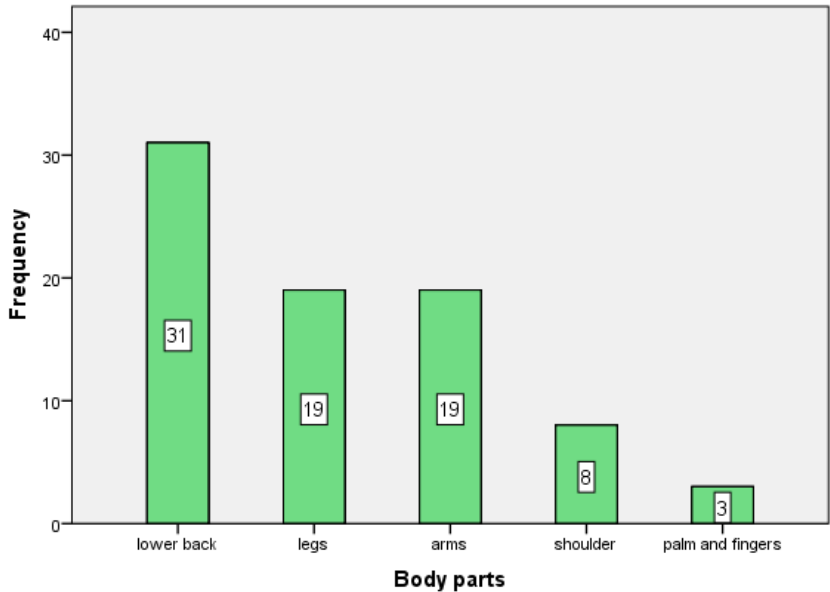


Figure 1. Exposure on body pa

Employees are partially satisfied with ergonomic conditions. Employees believe that the worst ergonomic conditions can be observed in retail stores (please refer to Figure 2).

The situation can be explained by the fact that most of the employees are exposed to an upward body position throughout the day. In addition there is a lack of ergonomic carpet in sorting - packing areas. Such carpet would help to evenly distribute the physical load over all body. Tables in stores used for operations with cash register and computers are not positioned on appropriate height; chairs are not adjustable or not equipped with backrests.

Work-related musculoskeletal disorders resulting from ergonomic hazards are common in the United States. Recent data from the Bureau of Labor Statistics indicate

that in 2011 one third of occupational injuries and illnesses resulting in lost time from work were work-related musculoskeletal disorders [7].

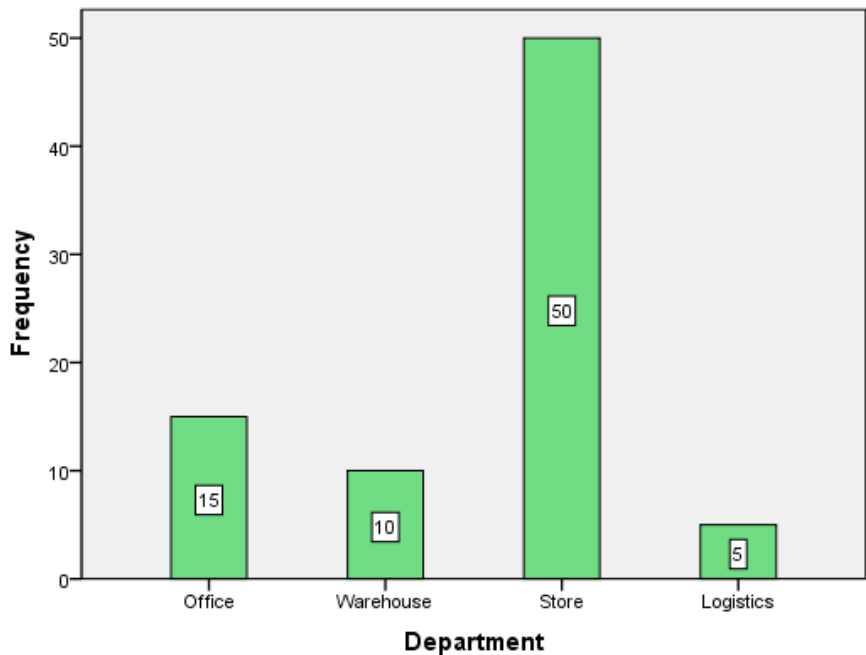


Figure 2. Employee dissatisfaction with the work ergonomic conditions

The human musculoskeletal system is very important for an ergonomic working environment risk assessment, this is why employees in bookshops feel discomfort and in more than 30% of cases it is caused by inadequate ergonomic environment.

In a research conducted in Spain (2014) on occupational risks in grocery stores, musculoskeletal disorders appeared to be the most recurrent health problem between the grocery store employees (particularly low back pain and carpal tunnel syndrome among cashiers), and it also was caused by an inadequate ergonomic environment [8]

Research conducted in Switzerland on ergonomics in supermarket workplaces and associated health problems confirms that workplaces are inadequately arranged (for example, inadequate ergonomic chairs in 23% of all workplaces) which leads to the pain in back and arms, and increased sight deterioration. [9].

CONCLUSIONS

Bookstore employees are exposed to the following ergonomic risks: static workload, monotonous work load, forced working postures, physical overload during lifting and moving of heavy objects etc. Everyday working routine is connected with high levels of concentration and responsibility.

Stress index analysis suggests that employees are exposed to an average level of risks. More than 60% of employees feel fatigue at end of the day. Increased levels of fatigue can be observed on positions which are more exposed to physical work. It is also supported by analysis of key performance indicators, which allows to argue that ergonomic risks have a significant impact on well-being and productivity of employees.

It is suggested that working places in office area should be arranged according to ergonomic parameters – including footrests and mouse pads with palm rests. The company should provide ergonomic carpet for warehouse employees working in sorting-packaging areas; it would allow to evenly distribute the load on back and legs leading to decreased levels of fatigue. It is important to inform employees about necessity to have regular breaks when special eye resting and muscle resting exercises should be performed.

Employer should consider providing employees with additional benefits. For example providing the support to take exercises in a gym or swimming pool after the working hours, because physical activities have very important role in increasing employees' well-being and in decreasing ergonomic risks consequences.

REFERENCES

1. Riga Stradins university, Occupational Safety and Environmental Health Institute, "Work safety requirements in retail branch", 2012, 35 p. Riga. (in Latvian)
2. Lapsa A. Work conditions and risks in Latvia, 2012–2013 [online]. Riga: Riga Stradins university, 2013 [25.02.2016]. <http://www.ddd.lv/wpcontent/uploads/2014/01/Darba-apst%C4%81k%C4%BCi-un-riski-Latvij%C4%81-20122013.pdf> (in Latvian)
3. Kalkis V., Roja Z., Kalkis H. Occupational health and risks at work. Riga: Medicinas apgads. 2015, 534 p (in Latvian)
4. Kalkis H. Business Ergonomics Management. Riga: Gutenbergs Druka. 2014, 155 p. (in Latvian)
5. Roja Z. Basics of Ergonomics. Riga: Drukatava, 2008, 190 p. (in Latvian)
6. V. Kalkis. Work environment risk assessment methods. Riga, Latvian Education Foundation, 2008, 245 p. (in Latvian).
7. Abareschi F., Yarahmadi R., Solhi M, Farshad A. Educational intervention for reducing work-related musculoskeletal disorders and promoting productivity. *Int J Occup Saf Ergon*, 2015, 21(4):480-5 p
8. Graziosi F., Bonfiglioli R., Violante F. Occupational risks in grocery stores. *Ital Med Lav Ergon*, 2014, 36(4):219-25 p
9. Nemecek J., Buchberger J., Fahrni M., Ergonomic problems in cash register jobs at self-service stores. *Soz Praventivmed*. 1986, 31(4-5):252-3 p

Psychosocial risks at work and relationship with the work ability of the call centres employees

S. Rutina-Rutenberga, Z. Roja

University of Latvia, Faculty of Chemistry

Abstract. The aim of the study was to research the association between psychosocial factors and work ability among call centres employees in Latvia. The study was descriptive cross – sectional study using the evaluation of psychological climate at work, software “Work Positive” and the Work Ability Index. The independent variables were psychosocial factors but the dependent variable – work ability. Job demands, job control, change and communication caused higher risk for safety and health in the call centres. The majority of employees had good or very good work ability. Four psychosocial factors had significant association with work ability in the call centres.

Key words: psychosocial factors, risk assessment, work ability, call centres.

INTRODUCTION

The work is an essential part of the life and has several positive effects, for instance, it increases the person’s self – esteem or the sense of belonging to the society. But at the same time the work and factors related to work can affect people health and safety negatively, for instance, the noise can affect the hearing, the chemicals can cause oncological diseases or the accidents at work can lead to the disability.

The psychosocial risks at work are defined as several work organization and management factors which interaction with social and environmental circumstance can cause social, physical or psychological problems [1]. The psychosocial work environment is a collective way of referring to work – related psychological and social influences on health such as time pressure, monotonous work, social reciprocity, job control and autonomy, fairness, work demands and job security, as well as social contact with co – workers and supervisors [2].

The prevalence of the psychosocial factors, for example, time pressure, monotonous work, the lack of job control and autonomy, work demands is growing as a consequence of increased usage of computers and other information technologies, increased amount of the information and the development of the service sector and new forms of work. In accordance with the data of Second European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks almost 60% of the enterprises deal with difficult customers, pupils or patients and over 40% of the enterprises and their employees are affected by the time pressure [3]. Based on the Eurobarometer results 53% of the employees consider that the stress at work is the main risk factor of the occupational safety and health [4]. The European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks data show that over 40% of the employers consider that the management of psychosocial risk factors is more challenging than dealing with other, traditional risk factors [5].

The literature analysis shows that psychosocial risk factors have several effects on employees' safety and health. According to the Eurobarometer data 27% of the employees have felt stress, depression or anxiety caused or worsened by work in the last 12 months [4]. The European Agency for Safety and Health at Work data show that 50% of the absent days are caused by work – related stress [6]. The psychosocial risks as excessive workload, the lack of employee autonomy, poor working conditions and the relationships with managers, role conflicts as well as age decrease employees' work ability [7]. Good work ability are more prevalent among men than women [8].

The prevalence of the call centres is growing as the consequence of the improvements of client service, for example, the accessibility of enterprise and the opportunity to provide wider customer support [9–11]. But at the same time the awareness about several psychosocial risk factors at call centres and their influence on the employees' health and safety is raising [9]. The psychosocial factors are associated with lower work ability [12]. Regarding to these arguments and growing number of call centres in Latvia it is important to find out the association between psychosocial factors and work ability among call centres employees.

The aim of the study was to research the association between psychosocial factors and work ability among call centres employees in Latvia.

MATERIALS AND METHODS

The study was descriptive cross – sectional study of a group of the call centres employees from four organizations – two state authorities, a bank and a telecommunications organization. The study population consisted of 96 participants. The participants' work was characterized as the mental work with computer and consulting customers via telephone. The participation was voluntary. The response rate was 47%.

The data were collected by electronic form. The questionnaire consisted of questions about gender, age, work experience, psychosocial factors (job demands, job control, support from managers and colleagues, relationships at work, employee's role, change and communication, psychological climate at workplace) and work ability. The questions about psychosocial factors were made using evaluation methods – software „Work Positive” and the evaluation of the psychological climate at the workplace. The Work Ability Index was used for the evaluation of work ability. The dependent variable was work ability but the independent variables – psychosocial factors.

The statistical analysis was carried out by Microsoft Excel and SPSS for Windows 16.0. The mean values for all psychosocial factors risk assessment as well as the frequencies of work ability groups were determined by descriptive statistics. The associations between psychosocial factors were analyzed by Spearman's correlation. The associations between work ability and demographic variables were analyzed by chi square and the crosstabs. The association between psychosocial factors and work ability was analyzed by Spearman's correlation.

The confidence level (*CI*) was 95% but the level of significance was less than 0.05 ($P < 0.05$). The association was weak if correlation coefficient (*r*) was less than 0.25, moderate if $0.25 < r < 0.75$ and strong if $r > 0.75$.

RESULTS AND DISCUSSION

The majority of respondents were women (88.5%). The majority of respondents were between 26 and 35 years (41.7%) and have been working for less than two years in the organization (47.9%).

Table 1 displays the mean values of psychosocial factors risk assessment. The lowest assessment was for the factors related to autonomy of employee and job control, for instance, the possibility to choose the way of doing work, the pace of work or the time of breaks. The second lowest assessment was for the factors related to job demands, for instance, workload, working environment or work patterns but the third – for the factors related to change and communication. If the lack of autonomy and high workload are typical problems of the call centres and widely described in the literature then the low assessment of change management and communication indicates problems related to employees engagement and internal communication culture thereby the organizations should take measures for risk reduction.

Table 1. The mean values of the psychosocial factors risk assessment

Psychosocial factors	The mean value	The standard deviation
Job demands	3.5953	± 0.48588
Job control	3.5366	± 0.66010
Managers' support	4.0562	± 0.66218
Colleagues' support	4.2943	± 0.55606
Relationships at work	4.3802	± 0.53309
Employee's role	4.6333	± 0.37125
Change and communication	3.6804	± 0.85176

The mean value of psychological climate at the workplace was 50.16 ± 6.627 and indicated medium psychological climate. The main factors that affected psychological climate were psychological strain between managers and employees, the lack of the sense of responsibility towards colleagues, tactless communication and the lack of time.

The majority of results of the Work Ability Index indicated good work ability of the call centres employees (69.8%; 95% *CI* 60.0 to 78.1). The proportion of good work ability differed from other groups statistically significant. Medium work ability were 17.7% (95% *CI* 11.4 to 26.5) of respondents but very good work ability – 12.5% (95% *CI* 7.3 to 20.6) of respondents. The mean value of the Work Ability Index was 39.58 ± 3.943 which indicated good work ability.

The results of correlations between psychosocial factors are displayed in Table 2. In the most cases there were statistically significant positive correlations between factors except correlation between job demands and employee's role. The correlations between factors mean that improvements in one factor can increase the assessment of other factor. The strongest correlation was between managers' support and change and communication ($r = 0.731$; $P < 0.00$). This correlation indicates the importance of engagement of employees and open communication culture because the employees feel managers' support in this way.

The results of correlations between psychosocial factors indicate that psychosocial risk factors management should be implemented by comprehensive

approach and the managers and occupational safety specialists should consider interaction among several psychosocial and other occupational factors.

Table 2. The results of Spearman's correlation analysis for psychosocial factors

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1. Psychological climate	1							
2. Job demands	0.292	1						
3. Job control	0.301	0.329	1					
4. Managers' support	0.576	0.415	0.537	1				
5. Colleagues' support	0.552	0.241	0.372	0.575	1			
6. Relationships at work	0.562	0.475	0.291	0.452	0.323	1		
7. Employee's role	0.396	0.128*	0.391	0.345	0.358	0.182	1	
8. Change and communication	0.495	0.363	0.567	0.731	0.504	0.508	0.416	1

Note. * association was not statistically significant, $P > 0.05$

The distribution of the results of the Work Ability Index in gender groups is displayed in Figure 1. Men evaluated their work ability as good or very good more often than women. Medium work ability were 9.1% of men and 18.8% of women. The differences between genders were not statistically significant ($\chi^2 = 0.857$; $P = 0.651$).

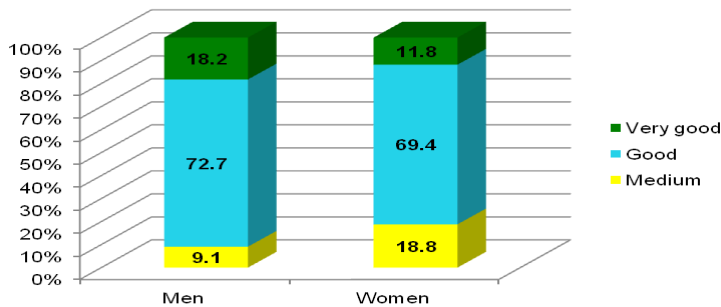


Figure1. The distribution of work ability in gender groups

Work ability were not statistically significant different in age groups ($\chi^2 = 5.313$; $P = 0.504$). Medium work ability were more prevalent in age group between 26 and 35 years (22.5%), good work ability – between 51 and 65 years (87.5%) but very good – between 26 and 35 years (17.5%).

Work ability were not statistically significant different in several groups of the work experience ($\chi^2 = 3.543$; $P = 0.738$).

There were significant positive correlation between higher assessments of job demands, relationships at work, employee's role and change and communication and work ability. The results are displayed in Table 3.

The strongest correlation was between changes and communication and work ability ($r = 0.272$; $P = 0.004$). The possible explanation of this association is that well communicated and clear changes which are carried out with the participation of employees allow to manage the employees' and organization's resources for better performance. The second strongest association was between job demands and work ability ($r = 0,245$; $P = 0,008$). It means that the variety of tasks, appropriate distribution of working time and resources, a sufficient number of breaks and adequate physical working environment could increase work ability. The other significant associations indicate the importance of clearly defined tasks, role and the meaning of work as well as good and respectful relationships importance for the improvements of work ability.

Table 3. The results of Spearman's correlation analysis between psychosocial factors and work ability

	The Work Ability Index
Psychological climate	0,164
Job demands	0,245**
Job control	0,127
Managers' support	0,168
Colleagues' support	0,126
Relationships at work	0,196*
Employee' role	0,204*
Change and communication	0,272**

Note. ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$

There are no statistically significant associations between work ability and demographic variables like gender and age and these results are opposite to other studies [7, 8]. The correlation analysis confirms other survey data that several psychosocial factors are associated with lower work ability [12]. The psychosocial factors like job demands, relationships at work, employee's role have positive association with work ability what means if the assessment of psychosocial factors is low then the prevalence of medium or bad work ability is higher [7].

The advantages of the study are the group of respondents created from employees from several organizations, the usage of tested evaluation methods and the type of data collection. The limitations of study are small number of respondents, the cross – sectional study design that does not allow to determine causality.

The future studies should determine the main sources of psychosocial risk factors in the call centres and their association with work ability for better risk management.

CONCLUSIONS

1. Job control, job demands, changes and communication are three psychosocial factors which cause higher risk for employees' safety and health.
2. The risk assessment of psychosocial factors indicates the importance of employees' autonomy, workload, work patterns, physical working environment, engagement of employees and internal communication.
3. The majority of employees in the call centres have good or very good work ability.

4. There are positive and significant correlations between psychosocial factors emphasizing the importance of comprehensive approach in risk reduction.
5. The higher assessment of job demands, relationships at work, employee's role and change and communication is positive associated with better work ability.

ACKNOWLEDGEMENT

Authors would like to thank all respondents and their managers for participation in the study. This paper is a part of master's thesis "Psychosocial risks at work and relationship with the work ability and health habits of the call center employees".

REFERENCES

- [1] M. Eglite, "Darba medicina" [Online]. Available: http://stradavesels.lv/Uploads/2014/02/11/Darba_medicina_v2.pdf. [Accessed 24 03 2016].
- [2] Eurofound and EU-OSHA, „Psychosocial risks in Europe: Prevalence and strategies for prevention“ [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/en/publications/reports/psychosocial-risks-eu-prevalence-strategies-prevention/view>. [Accessed 24 03 2016].
- [3] EU-OSHA, „Second European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks (ESENER-2)“ [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/en/tools.../esener-ii-summary.pdf>. [Accessed 24 03 2016].
- [4] European Commission, „Working Conditions. Summary“ [Online]. Available: http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_398_sum_en.pdf. [Accessed 24 03 2016].
- [5] EU-OSHA, „European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks (ESENER)“ [Online]. Available: https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/en_esener1-summary.pdf/view. [Accessed 24 03 2016].
- [6] EU-OSHA [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/lv/themes/psychosocial-risks-and-stress>. [Accessed 24 03 2016].
- [7] T. Sjogren-Ronka, T. M. Ojanen, K. E. Leskinen, T. S. Mustalampi, E. A. Malkia, "Physical and psychosocial prerequisites of functioning in relation to work ability and general subjective well-being among office workers," *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, vol.28, p.184–190, 2002.
- [8] T. I. J. Van den Berg, S. M. Alavinia, F. J. Bredt, D. Lindeboom, et. al., "The influence of psychosocial factors at work and life style on health and work ability among professional workers," *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 81, p. 1029–1036, 2008.
- [9] K. Akroud, V. Gordon-Dseagu, P. Fairhurst, „Well-being and Call Centres“ [Online]. Available: <http://www.employment-studies.co.uk/system/files/resources/files/mp69.pdf>. [Accessed 24 03 2016].
- [10] C. A. Sprigg, P. R. Smith, P. R. Jackson, „Psychosocial risk factors in call centres: An evaluation of work design and well-being“ [Online]. Available: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr169.pdf>. [Accessed 24 03 2016].
- [11] S. Erol, K. Gur, S. Ergun, I. Yalcin, "Burnout Level of a Bank's Call Centre Employee and Affecting Factors," *Journal of Marmara University Institute of Health Sciences*, vol. 4, no.4, p. 216–225, 2014.
- [12] M. P. Conway, P. Campanini, S. Punzi, P.G. Fichera, et. al., "Work stress, common mental disorders and Work Ability Index among call center workers of an Italian company," *Epidemiologia & Prevenzione*, vol. 37, p. 17–28, 2013.

Suitability of school environment for children physical needs

V. Viluma

Rezekne Academy of Technologies, Faculty of Education, Language and Design, Master study program 'Design'

Abstract. The paper analyses school-children physical activity in a proper environment. Statistic data reveals the problem that pupils during the school day are not involved in moderate or active 60 minutes long physical activities. The focus of the article is on the necessity of purposeful physical activity for pupils, which need to be provided with an appropriate design of school premises. Physical activity during the day is necessary for pupils to be healthy, rested and able to concentrate better on their studies. School premises must be subordinate to the users' needs in order to create high-quality and appropriate environment. The research was conducted by the theoretical research method – the analysis of literature and internet sources.

Key words: School, ergonomics, suitability, physical needs, children, active design

INTRODUCTION

Design has the capability to change the world for the better, and when used appropriately it can be a more powerful tool than any single area such as technology, engineering or biology. Through interdisciplinary design, people can gain the capability to solve complex social problems. Consequently, interdisciplinary design is what happens when design thinking is applied to the multilateral society; it also embodies the interaction between people and the world [1].

Interdisciplinary design is through the process of developing design solutions with a group of professionals from different disciplines. Interdisciplinary study satisfies the demands of social development and increases cooperation. [2].

Nowadays design is tightly connected with architecture, science and engineering, what turns it into interdisciplinary field. Collaboration with multidisciplinary specialists helps to increase effectiveness of problem solving. One of the modern world's problems is obesity of children, what must be solved interdisciplinary involving as many as possible different fields.

Health is a parameter of a life quality, also a foundation of family's and society's well-being. It is one of the crucial values in every human's life. Family and school are two important influencers in development of children's personalities in the school time and adolescence [3]. Insufficient physical activities are a vital factor which negatively influences also pupils' health. It is considered that 60 minutes long every day physical activities are sufficient for children aged 5 to 17 years [4]. Recent survey's data about school pupils physical activities revealed that sufficient and recommended load (60 minutes per day) have only 24,4% boys and 16,0% girls [5]. School must participate in the problem's solving, because children spend a lot of time in school premises.

For creating effective learning process for pupils and younger school children is advised to organize moving activities during breaks; for middle and high school age is advised to teachers to change teaching methods, but on breaks nobody is supervising pupils and all their physical activities depend on school's environment.

In general school's environments are not designed for active movements, because it cause much noise and trauma threats. Recent years have shown the opposite tendency that children are becoming less active because on breaks mainly are checking social sites on their cell phones instead of communication or moving around [6]. Physical activities are important, because during the study process they activate brain functions which increase perception of learning material. Whereas activities during breaks activate the organ systems which are responsible for development of the children body, providing optimal functioning of muscles, bones, blood circulation and digestion. Physical activities also reduce the stress level.

Described issue pointed the aim of this article – to analyse school environment suitability for school children physical activities and to develop proposals for the school environment design to encourage physical activities for school children.

There was used theoretical method for carrying the research: analyses of literature and internet sources.

ACTIVE DESIGN CONCEPT

World designers have gone beyond the scope of traditional industry boundaries. In contemporary world designers can work not only in their professional specialization, but can be useful also in any other field, where is needed human-oriented approach for developing and implementing future scenarios, as well also to practise in new design spheres: service, social design, strategic and other fields. Accessing the current events in society, appear more and more new design types. One of them is the active design. This determines, that in construction of buildings, streets and surrounding, urban planning and architecture should be made in a way that it increase physical activity, promote and let healthier foods and beverages to be more accessible [7].

Nowadays interior designers are involved not only in the design process, but also in appropriate planning high-quality services and delivering according to environment, users, the customer's needs and the spatial structure.

Functional logic and spatial structure from the user's point of view is the comfortable use of the space, safety, and availability of environment.

All these aspects contribute to create a user's attitude, interest and positive or negative experience in the context of subject, spatial, time and motion components.

One of the positive examples is the active urban design guidelines developed by US professionals, compliance with which gives hope that the architects and designers can help to improve significantly the health and well-being of the population.

Active design promises benefits not only for public health but also for the environment and for advancing universal design. Design strategies that increase physical activity and improve health—for example, measures that promote walking over driving, stair over elevator use, and active recreation over television watching—also tend to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions. In addition, active design can assist not only people able to climb stairs daily, but users of all mobilities, ages, and backgrounds. A diverse, active, healthy population and a sustainable planet are synergistic [7].

It is emphasizes in active design that designers play an important role and the ability to change people's habits, that transforming and adapting the environment, it is possible to promote physical activity.

Guidelines of the active design state, that architects can help building occupants incorporate physical activity into their daily routines through the following measures:

- increase stair use among the able-bodied by providing a conveniently located stair for everyday use, posting motivational signage to encourage stair use, and designing visible, appealing and comfortable stairs;
- locate building functions to encourage brief bouts of walking to shared spaces such as mail and lunch rooms, provide appealing, supportive walking routes within buildings;
- Provide facilities that support exercise such as centrally visible physical activity spaces, showers, locker rooms, secure bicycle storage, and drinking fountains;
- design building exteriors and massing that contribute to a pedestrian-friendly urban environment and that include maximum variety and transparency, multiple entries, stoops, and canopies [7].

Applying the active design for the school environment, it should be carefully designed to create a safe and high-quality design. School environment specifics in some extent differ from public interiors, so it is essential to examine the above-mentioned active design options, according to the safety of children and age characteristics.

In existing schools, raising the need for physical activities, there needs to be find opportunities for adaptation existing environment to new functions.

PHYSICAL ACTIVITY OPPORTUNITIES IN THE SCHOOL ENVIRONMENT

The work is based on analysis of literature and information sources. Researching and analysing the information, it is concluded that sedentary lifestyle of students has become a vast worldwide problem [8].

Excess body weight is a rapidly growing global problem in a society.

Over the past 20 years in European Union (EU) countries, there is rapidly growing the number of the children and teenagers who are overweight or even obese. It is calculated that 18% of the EU Member States school-age children has been observed as overweighted (14 million out of 77 million in the EU-25 school-age children), with a tendency to rise by 0.55 to 1.65 percent, or approximately 400 000 cases per year [9].

The environment of the school building must provide main physical environmental factors, i.e, heat that forms the building climate. Must also provide comfort of vision, which is provided by a sufficient

amount of day light. As well as to create acoustic levels which dampens unwanted noise and distractions. [Fig.1.], [10]. These environmental factors contribute and ensure the well-being and development of students.

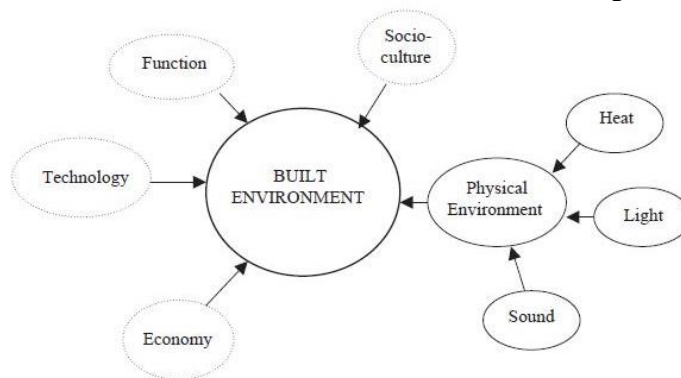


Figure 1. Space physical aspects. Source [10].

Pupils' well-being is not only affected by the physical space factors, but also by space design, colour combinations, ergonomic factors and as well as personal space [11]. These different aspects have an impact on students' mood, attitude and ability to learn qualitatively [12].

Pupils being in school cannot reach the maximum of daily physical activity, i.e., to move at least for 60 minutes. The school and its environment is the place where children spend a long time sitting statically on the pews, as it is stated to be in a learning process. Spending so much time in a static position, pupils can get in a risk category to become obese [13]. To change this situation schools in New York were offered to implement active design. It states that designers have to think out ways how the interior of the building can increase and encourage students for physical activity [7].

School furniture should be ergonomically designed and tailored to students' height parameters, whereas non-ergonomically made furniture cause discomfort and tiredness. It would be desirable during the learning process to give the possibility to transform the furniture from a sitting position to a standing position. This would give students the opportunity to move during the learning process [14]. As one of the solutions is to use stand-stools [15]. It is important to activate the micro-movements, which can be achieved by moving stools, balls and puffs [Fig.2.], [16].



Figure 2. Hokki stool. Source [17].

Useful free time spending during breaks currently has turned out to be a problem at schools, the students willingly choose to sit and better use their smart devices than physically move. In order to change and improve this situation, the school environment should provide for pupils opportunities to move physically and switch from the learning process to rest. There should be separate rooms or areas in which it is possible to create a recreational area. School interior should be integrated with new indoor games and must offer their diversity. As the research results show that physical environment impacts students' will to move [18].

As a simple, but a good solution is to allocate the area for ping-pong table [Fig.3.]. Studies have shown that students, who have the opportunity to play ping-pong, do much more activities daily. They have the opportunity to socialize with each other and create new relationship. The game provides an opportunity

to develop own rules among all players, compose passion, excitement and let to be sociable, friendly and open during the game [19].



Figure 3. Ping pong table and billiard in Brockert Hall school. Source [20].

Nowadays children spend a lot of time playing video games, but at school it is possible to customize and use active video games to promote physical activity. Research data reveal that Nintendo Wii, Dance Dance, Just Dance, Wii Fit, Wii Sport games have a good impact on activity [Fig.4.], [21].



Figure 4. Dance Dance Revolution video game in Francis-Stevens Education Campus. Source [22].

The following games can be offered to those students who are very passive or sedentary, thus promoting the movement quantity [23]. Games need appropriate technical equipment and place, or a particular room, where students would have the opportunity to play them. The following games will create excitement and the spirit of competition. School facilities should be used efficiently and free space area adapted to physical activity. The interior can extended with balance boards and balance balls that do not require a lot of space.



Figure 5. Balance board in school breaks. Source [24].

Keeping the balance is an exciting game what stimulates physical activity. While playing, children can compete among themselves, who will be able to stay longer on the balance board.

As another possible game-exercise could be implemented “hopscotch”. It needs only to be paint playing field or games contours on the floor with colourful painters tape. This game can be played in both school exteriors and interiors.

High physical activity can be achieved by installing "Swedish wall" or setting mini basketball baskets, where to throw soft balls. These activities should be installed in the place where it will not disturb other people. Security must be rethought, because Swedish wall must be provided with carpets or mattresses.

School premises should promote walking down the stairs. Stairs can be painted in bright colours to attract attention and create positive emotions [16]. Promoting walking down the stairs, children will change their habits and use the stairs instead of the elevator.

Every single school should individually assess existing interior and premises, where it is possible to provide physical activity. Adapting the interior must be conducted wisely and creatively to maximize opportunities for physical activity in the school environment.

CONCLUSIONS

The study was conducted to understand the ways in which it is possible to increase pupils' physical activity, reducing childhood obesity and a sedentary lifestyle risks. The collected information can serve as a basis for transformation of the school environment with the aim to increase physical activity.

Analysis of the literature and an information sources has shown that it is a major problem that students' lack physical activity, and reduction and prevention have become global and worldwide.

It is examining that the pupils in the school environment do not enough physically move, learning process is conducted in static sitting and break times are wasted.

It is very important for the school management to realize that school is the place where children should be guaranteed with physical activity. Teachers need to be educated to create a different learning process, including physical activity during lessons. It must be understood that children cannot be static for a long time and at the same time to show the best performance in learning subjects.

The design of an environment can affect children's physical activity within a particular space. By creating active interior design can be achieved higher physical activity due the fact that the environment stimulates children's physical activity. As students spend most of the day in educational institution, the school designers and also the administration should provide an environment that contributes to educated and healthy society.

By modifying and adapting the school premises for physical activity, students will be given the chance to be healthier, reduce stress, increase focus and socialize more. It is important to build a purposeful physical activity that will also encourage students to move actively over a prolonged period. It will also be an example to customize home space or daily routine for physical activity in order to maintain and improve health.

It is recommended to use the most popular motion games among students, putting them in particular locations equipped with safe and ergonomic equipment that does not interfere with the movement of persons not involved. They may be motion games with necessary:

- Movable equipment - tennis, novus, billiard table
- Static inventory - a mini basketball basket, "Swedish wall", active video games (plasma screen, a specific game equipment)
- Labelling – „hopscotch”.

School staff should be open to new ideas and opportunities to promote children's physical activity in the school premises. In cooperation with a number of sectors it is possible to implement creative and useful ideas for children's activities.

REFERENCES

- [1] Y. Du, "What is interdisciplinary design?" [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/what-interdisciplinary-design-yue-du>. [Accessed 24.01. 2016].
- [2] O. Erkan, "Interdisciplinary Collaboration between Interior Architecture and Industrial Product Design Programs in Turkey," ScienceDirect, 4th International Conference on New Horizons in Education, 2013.
- [3] I. Pudule, B. Velika, D. Grīnberga, I. Gobiņa, A. Villeruša, "Latvijas skolēnu veselības paradumu pētījums 2009./2010.māc.g. aptaujas rezultāti un tendences," Rīga, Slimību profilakses un kontroles centrs, 2012.
- [4] WHO, "Global Recommendations on Physical activity for Health" [Online]. Available: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44399/1/9789241599979_eng.pdf, 2010.
- [5] Latvijas Universitāte, "Izvērtējums sabiedrības veselības pamatnostādņu 2014.–2020.gadam izstrādei," [Online]. Available: http://www.vm.gov.lv/images/userfiles/sab_ves_pamatnost_izvertejums_31_01_14.pdf, 2014.
- [6] National Association for Sport and Physical Education, "Integrating Physical Activity into the Complete School

- Day,” [Online]. Available: www.naspeinfo.org, 2008.
- [7] M.,R. Bloomberg, D. Burney, T. Farley, J. Sadik-Khan, A. Burden, “Active design guidelines,” City of New York. [Online]. Available: <http://healthiarnyc.org/activedesignschools/>, 2010.
 - [8] A., P. Hills, L.,B. Andersen, N., M. Byrne, “Physical activity and obesity in children,” *British Journal of Sports Medicine*, vol. 45, p. 866-870, 2011.
 - [9] G. Selga, V. Lāriņš, M. Sauka, “ Liekās ķermeņa masas un aptaukošanās problēma Latvijas skolēniem,” [Online]. Available: <http://www.vsmc.gov.lv/wp-content/uploads/2013/04/Liekais-svars-Latvijas-skoleniem.pdf>, 2008.
 - [10] G., K. Oral, A., K. Yener, N., T. Bayazit, “Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions,” *Building and Environment*, vol. 39, p. 281 – 287, 2004.
 - [11] P.Barrett, Y.,Z. Zhang, J. Moffat, K. Kobbacy, “A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils’ learnin,” *Building and Environment*, vol. 59, p. 678-689, 2013.
 - [12] M. Turunen, O. Toyinbo, T. Putus, A. Nevalainen, R. Shaughnessy, U. Haverinen-Shaughnessy, “Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students,” *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 217, issue 7, p. 733–739, 2014.
 - [13] E. Llargues, R. Franco, A. Recasens, A. Nadal, M. Vila, M., J. Perez, J., M. Manresa, I. Recasens, G. Salvador, J. Serra, E. Roure, C. Castells, “Assessment of a school-based intervention on eating habits and physical activity in school children: the AVall study,” [Online]. Available: http://www.jstor.org/stable/23052134?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents, [2011].
 - [14] S., R. Agha, M., J. Alnahhal, “Neural network and multiple linear regression to predict school children dimensions for ergonomic school furniture design,” *Applied Ergonomics*, vol. 43, p. 979-984, 2012.
 - [15] G. Cardon, D., D. Clercq, I., D. Bourdeaudhuij, D. Breithecker , “Sitting habits in elementary schoolchildren: a traditional versus a “Moving school””, *Patient Education and Counseling*, vol. 54, p. 133–142, 2004.
 - [16] The partnership for a healthier New York, “Active design, tooling for schools,” [Online]. Available: <http://healthiarnyc.org/activedesignschools/>.
 - [17] “Hokki Stool: The Revolution”, [Online]. Available: <http://www.jmclimited.ca/updates/hokki-stool-revolution>. [Accessed 27 03 2016].
 - [18] N., M. Oreskovic, E. Goodman, E., R. Park, A., I. Robinson, J., P. Winickoff, “Design and implementation of a physical activity intervention to enhance children's use of the built environment (the CUBE study),” *Contemporary Clinical Trials*, vol. 40, p. 172–179, 2015.
 - [19] M. Waermö, “Enculturation into inclusion, protecting what ‘is’, and changed acting: Exploring children's break-time table tennis playing,” *Learning, Culture and Social Interaction*, 2016.
 - [20] “Brockert Hall,” <https://www.uwplatt.edu/explore/brockert-hall>.
 - [21] E. Norris, M. Hamer, E. Stamatakis, “Active Video Games in Schools and Effects on Physical Activity and Health:A Systematic Review,” [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022347616001499>. [Accessed: 3 02 2016].
 - [22] V. Hallet, “Dance Dance Revolution hits D.C. schools,” [Online]. Available: https://www.washingtonpost.com/lifestyle/wellness/dance-dance-revolution-hits-dc-schools/2013/02/05/31d440a4-6c83-11e2-bd36-c0fe61a205f6_story.html. [Accessed: 20 03 2016].
 - [23] R., R. Mellecker*, A., M. McManus, “Active video games and physical activity recommendations: A comparison of the Gamercize Stepper, XBOX Kinect and XaviX J-Mat,” *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 17, p. 288–292, 2014.
 - [24] Healthy Family Matters, “Balance Board Benefits for Family Fitness and Fun,” [Online]. Available: <http://www.healthyfamilymatters.com/balance-board-benefits-family-fitness-fun/>. [Accessed: 20 03 2016].

Luu-lihaskonna näitajad osalise ja täieliku töövõimega masinõmblejatel *Musculoskeletal parameters of sewing machine operators with partial and full work ability*

K. Hiir, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

Abstract. The aim of this study was to measure musculoskeletal parameters among sewing machine operators with the partial and full work ability, to analyze functional status of the musculoskeletal system, range of motions (ROM) in wrist, elbow and neck and hand-arm muscle force in the left and right side of the body. The measurements were carried out in the beginning and in the end of the work day. There were 35 participants in the study group, with the mean age 44,5 ($\pm 8,42$) years. The most of them had work experience more than 5 years. The sewing machine operators were divided into two groups – a those who had full work ability ($n=23$) and those who had diagnosed partial work ability ($n=12$). The results showed that worse musculoskeletal parameters were measured among the workers with partial work ability compared to the workers with full work ability ($p<0,05$). In the group with partial work ability a higher stiffness m. trapezius in the left side of body was recorded in the beginning of work day and it worsened significantly in the right side at the end of the work day. The most significant difference was detected in elasticity of the left m. flexor digitorum superficialis in the beginning of work day ($p=0,002$). The lower frequency in the m extensor digitorum superficialis was measured at the end of work day. At the same time the higher left wrist extension and supination in the both hand-wrists have observed among the sewing operators with partial work ability. The higher stiffness of the left m. trapezius'e and m. erectus spinae in the morning of work day and higher in the right side of the body at the end of the work day. Through the work day, the higher left wrist extension was measured compared to the right wrist extension ($p<0,05$). So, the more loaded was the left side of the body. In conclusion, more attention needs to pay on the work place ergonomics and physical activity of sewing machine operators.

Keywords: sewing machine operators, musculoskeletal parameters, full and partial work ability

SISSEJUHATUS

Eesti rõivatööstuses tegutses 2014. aastal umbes 450 ettevõtet, mis pakkus tööd ligi 6000 töötajale [1]. Õmbleja töö on sageli monotoonne, töötades istuvas asendis kogu tööpäeva jooksul, painutades keha pidevalt ette- või külgsuunas ning korrates pidevalt ühetüübilisi liigutusi. Valet tööasendit võib põhjustada ebasobiv tööpinna kõrgus ja kaldenurk, reguleerimata jäänud töötool ja vale jalgade asend või ka valesti paigutatud töökoha valgustus. Aastate jooksul sundasendis ja sundliigutustega töötamine suurendab riski luu-lihaskonna vaevuste tekkimiseks. Esialgu võivad luu-lihaskonna vaevused ilmned juba tööpäeva jooksul ning olla otseselt seotud tööülesannete täitmise või ebaergonoomilise töökeskkonnaga, kuid püsivad kaebused kujunevad välja aja jooksul [2]. Varasemates uuringutes on leitud, et võrreldes teiste ametitega on masinõmblejate hulgas enam diagnoositud karpaalkanalisündroomi ning valusid kätes ja jalgades [3,4], samuti üla- ja alaseljast [5–7] ning kaelapiirkonnas [8]. Luu-lihaskonna vaevused on kõige sagedamini töövõime kaotust põhjustav tegur Euroopas ja Eestis, mis kulutab 0,5–2% rahvuslikust koguproduktist [9]. Eestis on vähemalt 22% tööealisest elanikkonnast töövõime kaotuse tõttu töötud. Neist pooltel on töövõime kaotus tekkinud luu-lihaskonnavaevustest nagu seljavalu, liigesehaigused, käte või kaela pinged [10]. Osalise töövõime puhul on inimese töötamine osaliselt piiratud, sõltudes tervises seisundi ja tegutsemisvõime prognoosist ja eeldatavast kestusest [11]. Täielik töövõime on inimese tervises seisund, mis võimaldab täita määratud tööülesandeid maksimaalse tulemuse saavutamiseks.

Uuringu eesmärgiks oli hinnata luu-lihaskonna funktsionaalset seisundit osalise ja täieliku töövõimega töötajate grupis, mõõta käte lihasjäõudu, lihaspinget, -toonust ja liigeste liikuvusulatust ning võrrelda tulemusi parema ja vasaku kehapoole vahel tööpäeva alguses ja lõpus.

MATERJAL JA METOODIKA

Uuring viidi läbi ühes Eesti õmblusettevõttes, kus töötajate arv on kokku 270 inimest. Ettevõtte toodab kõikides kategooriates kvaliteetseid ameti- ja tööriistaid ning kogu toodang läheb välisfirmale. Ettevõtte edu tööturul on taganud suur paindlikkus tellija suhtes. Mudelid võivad vahetuda päevade jooksul, kuna enamustellimuste mahud on suhteliselt väikesed. Osa masinõmblejatest peavad õmblema mitme erineva masinaga ning seega rakendub töös rotatsiooni põhimõte. Töösükliks on kasutusel kolm erinevat

õmblusoperatsiooni (lühike 10–20 min, keskmine 20–30 min ja peaaegu valmis tootega töötamine 20–30 min). Töö toimub kahel viisil: ekspressliinil ja paindliku režiimiga liinil. Ekspressliinis on toodang väiksem ning töötempo suurem. Painsliku liini puhul on toodang suurem ning tööülesannetele kulub aega rohkem. Töötatakse väikestes rühmades ning tulemus sõltub rühma suurusest, koostööst ja tootlikkusest.

Uuritavas ettevõttes töötab kokku 130 masinõmblejat, kellele saadeti elektrooniline küsimustik, selgitamaks välja ohutegurid ja luu-lihaskonna vaevused [12]. Ankeetküsimustiku lõpus oli võimalik anda nõusolek lihasparameetrite mõõtmiseks. Valimi moodustamise kriteeriumiteks osaleja vanus 18–65, õmblejana töötanud antud ettevõttes vähemalt 12 kuud ning luu-lihaskonna vaevuse esinemine või arsti poolt varem diagnoositud osaline töövõime. Töövõimet hinnati küsimustega: „Kuidas Te hindaksite oma praegust töövõimet 10 palli skaalal?“, „Kas Teil on diagnoositud töövõime langust, kui „jah“, siis mitu protsenti?“, „Kas Te usute, et lähtudes praegusest tervislikust seisundist olete ka kahe aasta pärast suuteline tegema oma praegust tööd?“. Osalise töövõimega gruppi kuulusid need töötajad, kelle puhul osaline töövõime on määratud Sotsiaalkindlustusameti juhendi alusel [13].

Ankeetküsimustikust lähtuvalt arvutati välja töötajate kehamassiindeks (KMI) ning töötajad jagati vastavatesse kategooriatesse: $<18,5 \text{ kg/m}^2$ – alakaal, $18,5\text{--}24,9 \text{ kg/m}^2$ – normaalkaal, $25,0\text{--}29,9 \text{ kg/m}^2$ – ülekaal, $30,0\text{--}34,9 \text{ kg/m}^2$ – rasvumise I aste, $35,0\text{--}39,9 \text{ kg/m}^2$ – rasvumise II aste, $>40 \text{ kg/m}^2$ – rasvumise III aste [14].

Luu-lihaskonna funktsionaalse seisundi hindamiseks kasutati müotonomeetriat, goniomeetriat ja dünamomeetriat, valutugevuse hindamiseks valu visuaalset analoogskaalat (*Visual analogue scale* – VAS) ja töövõime hindamiseks küsimusi, mis puudutasid töövõimetust ja prognoosi jätkata samal tasemel oma tööga lähema kahe aasta jooksul. Tööpäeva jooksul viidi läbi kaks mõõtmist, tööpäeva alguses (kell 7:30–10:30) ja lõpus (kell 14:00–16:30), et hinnata luu-lihaskonna seisundi muutusi tööpäeva jooksul. Töötajatel mõõdeti paremat ja vasakut kehapoolt. Mõõtmiste teostamiseks kasutati Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi seadmeid: *Myoton-2*, dünamomeetrit *Lafayette*, goniomeetrit *Lafayette Gollehon*, kaela liikuvuse hindamise vahend *CROM (Cervical Range of Motion)*. *Myoton-2* on Tartu Ülikoolis välja töötatud inimese skeletilihaste funktsionaalse seisundi hindamiseks [15]. Müomeetriga on võimalik hinnata lihase toonust (Hz), elastsust ja jäikust (N/m). Sõltuvalt lihaste tüübist on jäikuse normväärtus vahemikus 150–300 N/m, elastsus peaks jääma alla 1,0–1,2 ning toonus vahemikus 11–16 Hz [15]. Töötajatel mõõdeti rahuolekus nelja lihast: trapetsilihas (*m. trapezius*), sõrmede sirutaja lihas (*m. extensor digitorum*), pindmine sõrmpainutaja (*m. flexor digitorum superficialis*) ja selgroosirgestaja (*m. erector spinae*). *M. trapezius*, *m. extensor digitorum* ja *m. flexor digitorum superficialis* mõõdeti töötajal istuvas asendis ning *m. erector spinae* mõõtmine teostati kõhuliasendis massaažilaual. Lihaste jõu määramiseks kasutati dünamomeetrit *Lafayette*. Dünamomeetriga mõõtmiseks oli uuritava vajalik dünamomeetrit suruda maksimaalse jõuga nii parema kui vasaku käega. Kokku sooritati kuus surumist, kummagi käe kohta kolm, ning mõõtmiste vahe oli pool minutit [16], tulemused saadi kilogrammides (kg). Liigesliikuvuse määramiseks kasutati goniomeetrit *Lafayette Gollehon*. Liigesliikuvuse parameetreid kasutatakse jäsemete ja lülisamba funktsionaalse seisundi hindamiseks. Kõunar- ja randmeliigese aktiivset liigesliikuvust (AROM, *Active Range of Motion*) mõõdeti kõunarvarre väljapöörel (supinatsioon) ja sissepöörel (pronatsioon), randmeliigese painutamisel (fleksioon) ja sirutamisel (ekstensioon), randmeliigese radiaaldeviatsioonil (painutamine pöidla suunas) ja ulnaardeviatsioonil (painutamine väikse sõrme suunas). Liigesliikumist hinnati paremal ja vasakul käel. Kaelaosa liikuvuse hindamiseks kasutati goniomeetrit ning mõõdeti kaela ettepainutus, tahapoole sirutus, painutamine ning pea pööramine vasakule ja paremale, tulemused saadi kraadides (°).

Ankeetküsitluse andmete kogumiseks elektroonilisel teel kasutati tulemuste salvestamist otse arvutiprogrammi *MS Excel 10.0*. Mõõtmistulemuste analüüsimiseks kasutati andmetöötlusprogrammi *SPSS 23.0 (Statistical Packages for the Social Sciences)*. Andmete analüüsiks kasutati kirjeldavat statistikat (sagedusjaotused ja keskmine ($\pm SD$)). Gruppide erinevusi hinnati χ^2 -testiga, mõõtepunktide võrdlusel (hommikul ja õhtul, paremas ja vasakus kehapooles) kasutati paaris-t-testi (*Paired T-test*) ja gruppide keskmiste võrdlemisel dispersioonianalüüsi (*One-Way ANOVA*). Statistilise olulisuse nivooks võeti $p < 0,05$.

TULEMUSED

Küsimustiku täitis 57 töötajat, vastamismäär moodustas 43,8% [17]. Lihasparameetrite mõõtmiseks nõusoleku andnud vastajate hulgast valiti uuringusse 35 töötajat. Ankeetküsitlusest selgus, et 12 masinõmblejal oli varem diagnoositud osaline töövõime. Neist seitsmel töötajal oli varem diagnoositud töövõime langust 40%, neljal töötajal 50% ja ühel töötajal 60%. Ülejäänud 23 uuritavat olid töövõimelised.

Valimi kirjeldus on esitatud tabelis 1. Uuritava grupi moodustas 35 naissoost õmblejat vanuses 27–63 aastat. Kogu grupi keskmiseks vanuseks oli $44,5 \pm 8,42$ aastat, täieliku töövõimega grupil $42,91 \pm 8,61$ aastat

ning osalise töövõimega grupil $47,58 \pm 7,44$ aastat. Kui osalise töövõimega õmblejate hulgas oli võrdselt noorema- (<45 a.) ja vanemaalisi (>45 a.) töötajaid, siis täieliku töövõimega õmblejate hulgas oli märgatavalt enam (69,6%) nooremaalisi töötajaid. Kehamassiindeksist lähtuvalt oli normkaalus 51,4% töötajatest, ülekaalus 28,6% ja rasvunud 17,1% [14]. Kehamassiindeksi >40 kg/m² hulka kuulusid ainult osalise töövõimega töötajad. Uuritavatest 37,1% olid suitsetajad, kellest pooled moodustasid osalise töövõimega töötajad. Osalise töövõimega töötajad olid kehaliselt aktiivsemad (45,5%) kui täieliku töövõimega töötajad (39,1%). Enamus vastajatest tegi tööpäeva jooksul sõrmede ja randme liigutusi üle nelja tunni ning küünarliigese painutamist-sirutamist üle ühe tunni. Täieliku töövõimega vastanutest enamuse põhitööks oli õmblemine ja vähestel koordineerimine. Osalise töövõimega töötajatest kaks kolmandikku õmblesid, ning ligi viiendik tegelesid koordineerimise ja trukkide löömisega.

Tabel 1. Valimi kirjeldus (% , vastajate osakaal)

Table 1. Description of the sample

Tunnus	Uuritavad kokku (n=35)	Täieliku töövõimega töötajad (n=23)	Osalise töövõimega töötajad (n=12)
Keskmine vanus ($\pm SD$)	44,5 ($\pm 8,42$)	42,91 ($\pm 8,61$)	47,58 ($\pm 7,44$)
Noorem vanusgrupp (%)	62,9	69,6	50
Vanem vanusgrupp (%)	37,1	30,4	50
KMI ^{**} (keskmine $\pm SD$) (%)	25,72 ($\pm 5,72$)	23,81 ($\pm 3,55$)	29,36 ($\pm 7,34$)
alakaal	2,9	4,3	-
normaalkaal	51,4	56,5	41,70
ülekaal	28,6	34,8	16,70
rasvumise I aste	11,4	4,3	25,00
rasvumise III aste	5,7	-	16,70
Suitsetajate osakaal (%)	37,1	30,4	50
Kehaliselt aktiivsete osakaal (%)	41,2	39,1	45,5
Tööstaaž (%)			
1-5 aastat	14	13	16
>5 aastat	85,7	86,9	84
Randme või sõrmede liigutused kokku >4 h tööpäeva jooksul (%)	88,6	91,3	83,3
Küünarliigese painutamine ja sirutamine kokku >1 h tööpäevas (%)	94,3	95,7	91,7
Põhitöö (%)			
õmbleja	82,9	91,3	66,7
koordinaator	11,4	8,7	16,7
trukkide löömine	5,7	-	16,7

^{**} $p < 0,005$ keskmise KMI erinevus täieliku ja osalise töövõimega töötajate vahel

Lihaspameetrite mõõtmised näitasid erinevusi osalise ja täieliku töövõimega grupi vahel (tabel 2). Kõige suurem statistiline erinevus osalise ja täieliku töövõimega töötajate vahel leiti vasaku *m. flexor digitorum superficialis* elastsuses ($p=0,002$). Osalise töövõimega töötajatel oli ülemise *m. trapezius*'e jäikus suurem hommikul vasakus ($p<0,02$) ja õhtul paremas kehapooles ($p<0,04$). Oluliselt paremaid tulemusi saadi osalise töövõimega töötajate mõlema küünarvarre väljapöörde ulatuses ($p=0,02$), vasaku randmeliigese sirutusulatuses ($p=0,02$) ning parema randmeliigese ulnaardeviatsioonis ($p=0,02$). Kaelaosa liikuvuse ulatuses osalise ja täieliku töövõimega töötajate vahel statistilisi erinevusi ei leitud. Kaelaliikuvus lateraalsele ja pöördliigutuses (va pea ette painutamisel) näitas tööpäeva lõpus küll vähenemise tendentsi, kuid muutus oli statistiliselt ebaoluline.

Müotonomeetriselised mõõtmised näitasid olulisi erinevusi kõikide õmblejate lihastoonuses ja -jäikuses tööpäeva alguses ning lõpus (tabel 3). *M. trapezius*'e toonus ($p=0,002$) ja jäikus ($p=0,000$) vähenesid oluliselt tööpäeva jooksul. Samuti vähenes oluliselt ($p=0,02$) *m. flexor digitorum superficialis* toonus ja randmeliigese liikuvusulatus radiaaldeviatsiooni osas ($p=0,01$). Vasaku randmeliigese painutusulatus oli tööpäeva lõpus oluliselt suurem kui tööpäeva alguses ($p=0,02$).

Mõõtmised näitasid lihaspameetrite erinevust uuritavate parema ja vasaku kehapooles vahel (tabel 4). Leiti, et võrreldes parema kehapoolega, olid vasaku kehapooles lihaspameetrid oluliselt halvemad *m. trapezius* ($p=0,001$) ja *m. erector spinae* ($p=0,02$) jäikuses hommikul. *M. erector spinae* jäikus oli õhtul suurem paremal pool ($p<0,01$). Parema kehapooles küünar- ja randmeliigese liikuvuse näitajad olid madalamad võrreldes vasaku kehapoolega nii hommikul kui õhtul ($p<0,04$).

Tabel 2. Lihas- ja liigesparameetrite võrdlus täieliku ja osalise töövõimega masinõmblejatel sõltuvalt kehapoolast tööpäeva alguses ja lõpus (p – statistiliselt oluline gruppide vaheline erinevus)

Table 2. Comparison of musculoskeletal parameters of sewing machine operators with full and partial work capacity depending on body side and shift time, in the beginning and at the end of work day (p , statistically significant difference between the groups)

Näitaja	Kehapool	Keskmine (±SD)		p
		täieliku töövõimega grupp	osalise töövõimega grupp	
tööpäeva alguses				
Käe lihasjõud (kg)	Vasak	17,18 (±5,98)	16,89 (±9,30)	0,05
<i>M. trapezius</i> jäikus (N/m)	Vasak	302,78 (±56,87)	312 (±42,39)	0,02
<i>M. flexor digitorum superficialis</i> elastsus	Vasak	1,42 (±0,31)	1,36 (±0,12)	0,002
Randmeliigese sirutus (°)	Vasak	64,05 (±15,09)	72,33 (±23,51)	0,05
Randmeliigese radiaaldeviatsioon (°)	Vasak	19,41 (±11,98)	15,00 (±3,49)	0,05
tööpäeva lõpus				
Küünarvarre väljapööre (°)	Vasak	53,73 (±22,89)	60,83 (±14,17)	0,02
Küünarvarre väljapööre (°)	Parem	52,95 (±25,60)	68,33 (±15,29)	0,02
<i>M. trapezius</i> jäikus (N/m)	Parem	269,09 (±54,04)	264,67 (±33,48)	0,04
Randmeliigese sirutus (°)	Parem	63,14 (±9,91)	61,92 (±17,83)	0,02
Randmeliigese ulnaardeviatsioon (°)	Parem	22,23 (±7,50)	25,33 (±13,17)	0,02
<i>M. extensor digitorum</i> toonus (Hz)	Vasak	13,28 (±1,70)	11,56 (±0,92)	0,04

Tabel 3. Masinõmblejate lihas- ja liigesparameetrite võrdlus tööpäeva alguses ja lõpus sõltuvalt kehapoolast (p – statistiliselt oluline erinevus tööpäeva alguses ja lõpus)

Table 3. Comparison of musculoskeletal parameters of sewing machine operators in the beginning and at the end of the work day depending on the body side (p , statistically significant difference between the parameters in the beginning and at the end of workday)

Näitaja	Keskmine ($\pm SD$)		<i>p</i>
	tööpäeva alguses	tööpäeva lõpus	
Vasak kehapool			
<i>M. trapezius</i> toonus (Hz)	16,79 ($\pm 2,48$)	15,85 ($\pm 2,24$)	0,002
<i>M. trapezius</i> jäikus (N/m)	306,00 ($\pm 51,91$)	276,65 ($\pm 52,51$)	0,000
<i>M. flexor digitorum superficialis</i> toonus (Hz)	12,23 ($\pm 1,85$)	11,63 ($\pm 1,46$)	0,02
Randmeliigese painutus (°)	52,41 ($\pm 17,60$)	57,85 ($\pm 17,05$)	0,02
Parem kehapool			
<i>M. trapezius</i> toonus (Hz)	16,29 ($\pm 2,54$)	15,19 ($\pm 2,21$)	0,007
<i>M. trapezius</i> jäikus (N/m)	290,09 ($\pm 47,79$)	267,57 ($\pm 47,51$)	0,01
Randmeliigese radiaaldeviatsioon (°)	21,18 ($\pm 6,72$)	17,47 ($\pm 6,16$)	0,01

Tabel 4. Masinõmblejate lihas- ja liigesparameetrite vasaku ja parema kehapoolte võrdlus (p – statistiline erinevus keha vasaku ja parema poole vahel)

Table 4. Compare left and right side of the body by musculoskeletal parameters among sewing machine operators (p , statistically significant difference between the body sides)

Näitaja	Keskmine ($\pm SD$)		<i>p</i>
	vasak kehapool	parem kehapool	
Tööpäeva alguses			
<i>M. trapezius</i> jäikus (N/m)	306,00 ($\pm 51,91$)	290,09 ($\pm 47,79$)	0,001
<i>M. flexor digitorum superficialis</i> elastsus	1,40 ($\pm 0,26$)	1,53 ($\pm 0,36$)	0,05
<i>M. erector spinae</i> jäikus (N/m)	227,14 ($\pm 33,14$)	219,71 ($\pm 32,47$)	0,02
Randmeliigese sirutus (°)	66,97 ($\pm 18,58$)	61,68 ($\pm 13,69$)	0,01
Küünarvarre sisepööre (°)	58,00 ($\pm 27,51$)	51,79 ($\pm 25,83$)	0,03

Tabeli 4. jätk
Tabel 4. continued

Näitaja	Keskmine ($\pm SD$)		p
	vasak kehapool	parem kehapool	
Tööpäeva lõpus			
Käe lihasjõud (kg)	16,07 ($\pm 7,92$)	17,84 ($\pm 7,42$)	0,003
<i>M. flexor digitorum superficialis</i> elastsus	1,35 ($\pm 0,18$)	1,49 ($\pm 0,30$)	0,01
<i>M. erector spinae</i> jäikus (N/m)	217,06 ($\pm 35,84$)	219,43 ($\pm 25,41$)	0,01
Randmeliigese sirutus (°)	66,65 ($\pm 16,37$)	62,71 ($\pm 12,99$)	0,04

Osalise töövõimega töötajatel oli parema käe randmeliigese sirutus ($p=0,003$) väiksem kui vasakul käel. Kaela painutus paremale oli tööpäeva alguses osalise töövõimega töötajatel oluliselt väiksem kui vasakule painutades ning see erinevus oli vähem väljendunud täieliku töövõimega grupis ($p=0,004$ vs $p=0,005$).

ARUTELU

Õmblemine on laialt levinud tegevusala, mille puhul on tegemist sundasendite ja korduvliigutustega. Valet tööasendit võib põhjustada ebasobiv tööpinna ja töötooli vahekaugus, vale laua kaldenurk või jalgade asend [18]. Reeglina peab õmbluslaua kaldenurk olema 10° ja laua kõrgus reguleeritud vastavalt õmbleja antropomeetrilistele mõõtmetele [18,19]. Õmbleja sundsendid ja -liigutused võivad põhjustada lihas- ja liigesparameetrite funktsionaalse seisundi halvenemist tööpäeva jooksul ja pikemas perspektiivis soodustada kutsehaigestumist. Tööinspektsiooni 2009–2012 aasta andmete alusel oli õmblejatel enim diagnoositud terviseprobleemideks luu-lihaskonna vaevused ja karpaalkanalisündroom [2]. Ka varem läbiviidud uuringus on leitud, et korduvliigutustega tööülesannete täitmisel esineb enamus töötajatel randmevalu [20]. Antud uuringus osalejad olid staažikad õmblejad (töötanud üle viie aasta antud ettevõttes) ja keskmises vanuses üle 40 a. Osalise töövõimega õmblejate grupis oli rohkem regulaarseid suitsetajaid ja kõrgema kehamassiindeksiga töötajaid, millest võivad olla tingitud halvemad tervisenäitajad.

Uuringust selgus, et osalise töövõimega töötajatel oli küünar- ja randmeliigese liikuvusulatus ja mõlema kehapoole *m. trapezius*'e jäikus suurem kui täieliku töövõimega töötajatel. Tööpäeva alguses leiti osalise töövõimekaotusega õmblejatel oluliselt madalamad tulemused vasaku käe randmeliigese radiaaldeviatsioonis ja –sirutuses ning lihasjõus. Samas paranes vasaku käe *m. flexor digitorum superficialis* elastsus, mis võib olla mõjutatud regulaarsest hommikvõimlemisest. Ülajäseme liikuvusulatuse ja jõudluse halvemad hommikused näitajad võivad olla tingitud osalise töövõimega töötajatel liigesfunktsiooni mittetaastumisest tööpäeva alguseks.

Analüüsimaiks luu-lihaskonna seisundi muutust tööpäeva jooksul mõõdeti uuritavaid tööpäeva alguses ja lõpus. Tulemustest selgus, et kõikide osalejate *m. trapezius*'e funktsionaalne seisund ning küünar- ja randmeliigese liikuvus tööpäeva jooksul paranes. Tööpäeva lõpuks vähenes vaid randmeliigese radiaaldeviatsiooni ulatus, mis võis olla põhjustatud ühekülgetest liigutustest õmblemisel, nt detaili masinanõela alla paigutamine ja materjali pidev ette suunamine töölaual.

Uuringu tulemustest leiti, et masinõmblejatel on sundasendi ja -liigutuste tõttu rohkem koormatud vasak kehapool, mis võib olla tingitud õmblustöö eripärast ja asendist töölaua taga ning suur osa koormusest langeb vasakule kehapoolele. Seetõttu tuleb põhjalikumalt uurida lihasparameetreid mõjutavaid tegureid, töökoha sobivust ning regulaarselt hinnata töövõtteid ja -asendeid. Botswana rõivatööstuses läbiviidud uuring näitas, et vale laua ja tooli kõrgus, sundasend ning korduvad sundliigutused suurendavad luu-lihaskonna vaevuste tekkimise riski. Laua volest kõrgusest sõltuvalt pidi masinõmbleja randmeliigest korduvalt painutama ja sirutama, mis põhjustas liigset õlapinget [3]. Seega, masinõmblejate luu-lihaskonna parameetrid on mõjutatud sundasenditest ja korduvliigutustest ning õmbleja ebaergonoomilisest töökohast. Õmbleja töö eripära soodustab luu-lihaskonna funktsionaalse seisundi halvenemist ning töövõime langust.

JÄRELDUSED

1. Osalise töövõimega töötajate luu-lihaskonna funktsionaalne seisund oli mõnevõrra halvem. Osalise töövõimega töötajatel mõõdeti suurem jäikus *m. trapetzius*'es ja madalam elastsus *m. flexor digitorum superficialis*'es. Samas mõõdeti tööpäeva lõpus osalise töövõimega töötajatel suurem mõlema küünarliigese väljapöörde ning vasaku randme sirutusulatus.

2. Uuritava grupi lihasparameetrite dünaamika tööpäeva jooksul näitas lihasparameetrite funktsionaalse seisundi paranemist – *m. trapezius*’e toonus ($p=0,002$) ja jäikus ($p=0,000$) vähenesid oluliselt tööpäeva jooksul.
3. Võrreldes parema kehapoolega, olid vasaku kehapoole lihasparameetrid oluliselt halvemad *m. trapezius* ($p=0,001$) ja *m. erector spinae* ($p=0,02$) jäikus hommikul. *M. erector spinae* jäikus oli õhtul suurem paremal poolel ($p<0,01$). Parema kehapoole küünar- ja randmeliigese liikuvuse näitajad olid madalamad võrreldes vasaku kehapoolega nii hommikul kui õhtul ($p<0,04$). Uuritavate parema käe randme- ja küünarvarre liikuvusulatus oli oluliselt väiksem kui vasakus ülajäsemes.
4. Luu-lihaskonna funktsionaalse seisundi ja töövõime parandamiseks tuleb tööpäeva jooksul teha sagedamini puhkepause. Sirutuspauside läbiviimisel tuleb teha regulaarselt käte-, kaela- ja seljaharjutusi mõlema kehapoolega. Harjutuste valikul osalise töövõimega töötajate grupile tuleb arvesse võtta luu-lihaskonna vaevuste eripära.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] 2014. aasta majandusülevaade. (2014). Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Rahandusministeerium. Tallinn.
- [2] Sihtkontrollide kokkuvõtteid (2013). Tööinspeksioon. [WWW] https://www.ti.ee/fileadmin/user_upload/failid/dokumendid/Meedia_ja_statistika/Sihtkontrollid/2012_Sihtkontrollide_kokkuvote.pdf
- [3] Sealetsa, O. J., Thatcher, A. (2011). Ergonomics issues among sewing machine operators in the textile manufacturing industry in Botswana. *Work*, Vol. 38, pp. 279–289.
- [4] Pille, V., Tuulik, V.-R., Saarik, S., Tint, P., Vare, T., Sepper, R. (2015). Work-related musculoskeletal symptoms in industrial workers and the effect of balneotherapy. *Agronomy Research*, Vol. 13, No. 3, pp. 820–828.
- [5] Öztürk, N., Esin, M. N. (2011). Investigation of musculoskeletal symptoms and ergonomic risk factors among female sewing machine operators in Turkey. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 41, pp. 585–591.
- [6] Wang, P. C., Rempel, M. D., Harrison, R. J., Chan, J., Ritz, B. R. (2007). Work-organisational and personal factors associated with upper body musculoskeletal disorders among sewing machine operators. *Occup Environ Med*, Vol. 64, pp. 806–813.
- [7] Devereux, J. J., Vlachonikolis, I. G., Buckle, B. V. (2002). Epidemiological study to investigate potential interaction between physical and psychosocial factors at work that may increase the risk of symptoms of musculoskeletal disorder of the neck and upper limb. *Occup Environ Med*, Vol. 59, pp. 269–277.
- [8] Bandyopadhyay, L., Baur, B., Basu, G., Haldar, A. (2012). Musculoskeletal and Other Health Problems in Workers of Small Scale Garment Industry – An Experience from An Urban Slum, Kolkata. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (JDMS)*, Vol. 2, No. 6, pp. 23–28.
- [9] Schneider, E., Irastorza, X. (2010). European Agency for Safety and Health at Work. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. [WWW] <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/TERO09009ENC> (05.03.2016).
- [10] Zheltoukhova, K., Bevan, S. (2011). Töövõimeline Eesti? Luu- ja lihaskonna vaevused ning Eesti tööturg. The Work Foundation. Part of Lancaster University. [WWW] http://www.fitforworkeurope.eu/Estonia_Estonian_web.pdf (05.03.2016).
- [11] Sotsiaalministeerium. (2015). Töövõime hindamise metoodika. [WWW] sm.ee/sites/default/files/content-editors/Toovoimereform/toovoime_hindamistest/metoodika_14092015.pdf (31.03.2016).
- [12] Coggon, D., Ntani, G., Palmer, K. T., et al. (2012). The CUPID (Cultural and Psychosocial Influences on Disability) study: methods of data collection and characteristics of study sample. *PLoS ONE*, Vol. 7, No. 7, pp. 1–22.
- [13] Töövõime kaotuse protsendi määramise juhend. (SM vastu võetud määrus nr 3, 03.01.2002), RTL 2002, 9, 92. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/163243> (07.10.2015).
- [14] Body mass index – BMI (*s.a.*). World Health Organisation. [WWW] <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi> (22.03.2016)
- [15] Vain, A. (2002). Müomeetria. Skeletilihaste funktsionaalse seisundi biomehaaniline diagnostika. Tartu Ülikool, füüsika-keemiateaduskond, Biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika teadus- ja koolituskeskus. Tartu.
- [16] Ouden, M. E. M., Schuurmans, M. J., Branda, J. S., Artsa, I. E. M. A., Mueller-Schottea, S., Schouwa, Y. T. (2013). Physical functioning is related to both an impaired physical ability and ADL disability: A ten year follow-up study in middle-aged and older persons. *Mauritas*, Vol. 74, pp. 89–94.
- [17] Männaste, M., Merisalu, E. Masinõmblejate töö eripära ja luu-lihasvaevuste esinemissagedus. Üliõpilaste kevadkonverents. Tartu, EMU, Tehnikainstituut, 2016.
- [18] Singh, G., Vasudev, H. (2014). Human Factor Considerations in Sewing Machine for Workstation Design. *International Journal of Advance research, Ideas and Innovations in Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 1–5.
- [19] Delleman, N. J., Dul, J. (2002) Sewing machine operation: workstation adjustment, working posture, and workers’ perceptions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 30, pp. 341–353.
- [20] Pille, V., Tuulik, V. R., Saarik, S., Tint, P., Vare, T., Sepper, R. (2015). Work-related musculoskeletal symptoms in industrial workers and the effect of balneotherapy. *Agronomy Research*, Vol. 13, no. 3, pp. 820–828.

Masinõmblejate töö eripära ja luu-lihasvalude esinemissagedus

Nature of work and incidence of musculoskeletal pain among sewing machine operators

M. Männaste, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

Abstract. The aim of study was to analyse relationships between individual and job related risk factors and prevalence of musculoskeletal pain among sewing machine operators. The anonymous e-questionnaire was carried out to analyse the main individual and job related factors and localisation of musculoskeletal pain in different body regions in the past 12 months and last month. Sewing machine operators' work is monotonous, in sitting position, with repetitive bending movements of elbow, wrist and fingers. The main risk factors for the sewing operators were: high autonomy over work activities and working under stress because of short deadlines and to finish the assignments by a fixed time. More than half of participants had pain in lower back, neck and wrist. Usually pain in 3 and more body regions was reported. The pain with duration 1–6 days for lower back and neck was mentioned by 47,1% and 31,6%. BMI correlated positively with lower back and elbow pain. High autonomy was in positive correlation with pain in lower back ($p = 0,02$) and elbow ($p = 0,01$). Repetitive bending and extending of elbow was in positive correlation with pain in both neck and wrist ($p = 0,05$). In conclusion, associations between individual and job related factors and musculoskeletal pain were observed among sewing machine operators. So, regular breaks and less stress because of deadlines and high work pace could be the main organisational activities provided in the sewing industry.

Keywords: sewing machine operator, musculoskeletal pain, risk factors

SISSEJUHATUS

Masinõmbleja igapäevane töö hõlmab kiiret töötempot ning korduvaid ühetüübilisi liigutusi, mille tõttu peavad liigesed olema pidevalt mitteneutraalses asendis. Õmblejad on sageli kohustatud töötama kitsastes tingimustes ja ebamugavalt disainitud töölaudade taga. Õmblustöötajate seas on sagedaseks kaebuseks ebamugavustunne vasakus õlas, kaelas, seljas ja alajäsemetes. Valdava osa tööpäevast ollakse istuvas, tõstetud õlgadega asendis ning ülakeha ja pea on sealhulgas pidevalt ettekallutatud [1,2]. Epidemioloogiliste tõendite alusel on leitud suhteliselt tugev seos tekstiilitööstuse töötajate ning luu-lihasvalude esinemissageduse vahel [3].

Luu-lihasvaevused on Euroopas kõige enam levinud tööga seotud probleemiks. Suurbritannias 2014-2015 aastal läbi viidud tööjõu uuringu tulemused kinnitavad, et 44% kõikidest tööga seotud haigestumistest moodustasid luu-lihasvaevused [4]. Ameerika Ühendriikides on luu-lihasvaevused kõige sagedasemaks töölt puudumise põhjuseks. Aastal 2012 seostati haigestumise ja vigastuste tõttu töölt puudunud päevade arvu 29%-l juhtudel skeleti-lihasvaevustega [5].

Mitmete läbilõikeliste uuringute kohaselt kuuluvad õmblustöötajad kõrgesse riskigruppi, kellel on suur tõenäosus luu-lihasvaevuste väljakujunemiseks eelkõige kaela ja õlgade piirkonnas, kuid ka üla- ja alaseljas ning randmetes [6]. Skeleti-lihasvaevuste põhjuseks on muutused lokaalses vereringes ning struktuursed kahjustused lihastes, luudes, liigestes, kõõlustes, närvides [7]. Enamasti on luu-lihasvalud põhjustatud töö iseloomust ja töökeskkonna mõjust. Vaevuste tekkimist on otseselt seostatud füsioloogiliste teguritega nagu pidevad korduvliigutused, jõu kasutamine, staatilised kehaasendid ja vibratsioon. Samuti võivad luu-lihasvaevused olla põhjustatud ka psühhosotsiaalsete ning individuaalsete tegurite poolt [3, 8]. Tööga seotud teguriteks võivad olla tööülesannete keerulisus, kontrolli puudumine tööülesannete üle, vähene tööga rahulolu, monotoonne ja kiire tempoga töö või kolleegide ja juhtkonna toetuse puudumine [1]. Los Angelese õmblustöötajate seas läbi viidud uuringu tulemustest selgus, et mida mitmekülgsem on töö iseloom, seda vähem esines ülakeha piirkonna valusid. Rotatsioon ja tööülesannete vahelduvus tööpäeva jooksul võimaldab jaotada koormuse erinevate lihasgruppide vahel [9].

Varasemad uuringud on näidanud, et individuaalsete tegurite ja luu-lihasvalude vahel on seos. Portugali tootmistööliste seas viidi 2013. aastal läbi uuring, mille eesmärgiks oli välja selgitada seosed kehamassiindeksi (KMI) ja luu-lihasvalude vahel. Uuritavad jagunesid kahte gruppi: mitteülekaalulised ($KMI \leq 24,9 \text{ kg/m}^2$) ning ülekaalulised/rasvunud ($KMI \geq 25 \text{ kg/m}^2$). Uuringu tulemustest selgus, et ülekaalulistel töötajatel oli suurem oht luu-lihasvalude tekkeks õlgade piirkonnas [10]. Nii Türgis kui ka Taanis läbiviidud uuringute tulemused on näidanud, et õmblustöötajate seas on tugev seos staaži ja valude

vahel (küünar-, randme- ja õlavalu). Taani elanikkonna hulgas on registreeritud enim kaela- (57%), õla- (51%), selja- (47%) ja randmevalusid (26%) [11].

Töö eesmärgiks oli kirjeldada masinõmblejate töö eripära ja luu-lihasvalude esinemissagedust ning leida seoseid individuaalsete, füsioloogiliste ja organisatoorsete tegurite ja luu-lihasvalude vahel.

MATERJAL JA METOODIKA

Uurimisobjekt. Uurimistöö objektiks on Eestis paiknev tekstiilitööstusettevõtte. Enne uuringu alustamist võeti ühendust ettevõtte juhtkonnaga, et tutvustada uurimistöö eesmärki ja metoodikat. Uuringu läbiviimiseks on saadud nõusolek Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komiteelt.

Küsimustik. Küsimustiku koostamisel kasutati CUPID (*Cultural and Psychosocial Influences on Disability*) A osa [12], BQ (*Baecke Physical Activity Questionnaire*) [13] ja NMQ (*The Nordic Musculoskeletal Questionnaire*) [14] ankeetküsimustikke. Küsimustik koondati üheks tervikuks ning seejärel jagati kolmeks osaks. A-osa on põhiküsimustik, kuhu kuuluvad küsimused sotsiaal-demograafilisest andmete, spordiharrastuste ja töö kohta. A-osas on kokku 33 küsimust. B-osa koosneb valu küsimustest erinevates kehapiirkondades viimase 12 kuu ja ühe kuu jooksul. B-osa koosneb 18. küsimusest. C-osas on küsimused üldise tervise kohta (5 küsimust). Ankeet sisaldas kokku 57 küsimust. Ankeedis kasutati nii avatud kui ka suletud küsimusi. Küsimustele otsustusvabaduse ja kolleegide toetuse kohta oli võimalik vastata skaalal 1–4, kus 1 – mitte kunagi, 2 – harva, 3 – mõnikord, 4 – sageli. Tööga rahulolu hinnati skaalal 1–4, kus 1 – väga rahuolematu, 2 – rahulolematu, 3 – rahul, 4 – väga rahul. Tööeripära ja valude esinemise kohta viimase 12 kuu ja 1 kuu jooksul oli võimalik vastata jah/ei. Valude kestust hinnati skaalal 1–3, kus 1 – 1–6 päeva, 2 – 1–4 nädalat, 3 – 1–12 kuud. Kui mitmel päeval takistas valu tööle minemast, sai vastata skaalal 0–3, kus 0 – 0 päeva, 1 – 1–5 päeva, 2 – 6–30 päeva ja 3 – enam kui 30 päeva. Tegevusi tööl hinnati skaalal 0–4, kus 0 – ei iialgi, 1 – harva, 2 – mõnikord, 3 – sageli, 4 – väga sageli. Kehamassiindeksi (KMI) arvutamiseks on ankeetküsitluses küsitud kehamassi ja pikkust. Kehamassiindeksit arvutatakse valemiga: $\text{mass(kg)}/\text{pikkus(m)}^2$. KMI järgi on olemas neli kategooriat: alakaal ($\text{KMI} < 18,5$), normaalkaal ($\text{KMI} 18,5\text{--}24,9$), ülekaal ($\text{KMI} 25\text{--}29,9$), rasvumise I aste ($\text{KMI} 30\text{--}34,9$) rasvumise II aste ($\text{KMI} 35\text{--}39,9$) rasvumise III aste ($\text{KMI} \geq 40$) [15].

Uuritavatele esitati küsimustik elektroonilisel kujul, mille koostamiseks kasutati veebipõhist kontoritarkvarapaketti Google Docs. Ankeetküsimustik esitati masinõmblejatele ($n = 130$) vastamiseks ajavahemikus 22. detsember 2015...8. jaanuar 2016 nii eesti kui ka vene keeles. Küsitlusele vastamine oli täielikult vabatahtlik.

Statistiline analüüs. Elektroonilise küsimustiku vastused salvestati automaatselt MS Excel tabelarvutusprogrammis. Ankeetküsitluse tulemuste analüüsimiseks kasutati andmetöötlusprogrammi SPSS.21.0 (*Statistical Package of Social Sciences*). Kirjeldavad karakteristikud esitati keskväärtuse \pm standardhälbe kujul ning sagedustabelitena (%). Gruppide erinevuse hindamiseks on kasutatud X^2 -testi ja keskmiste võrdlemisel dispersioonianalüüsi ANOVA (*Analysis of Variance*). Pearson korrelatsioonanalüüsi abil analüüsiti seoseid luu-lihasvalude ning erinevate tegurite vahel: individuaalsed (vanus, pikkus, kehamassiindeks, suitsetamine), organisatoorsed (otsustusvabadus, puhkepausid, staaž) ja füsioloogilised (küünarliigese- ja randme/sõrmede korduv painutamine/sirutamine, töö staatilises asendis, raskuste tõstmine). Uuringu tulemustes on esitatud ainult seosed, mis on statistiliselt olulised ($p \leq 0,05$).

TULEMUSED

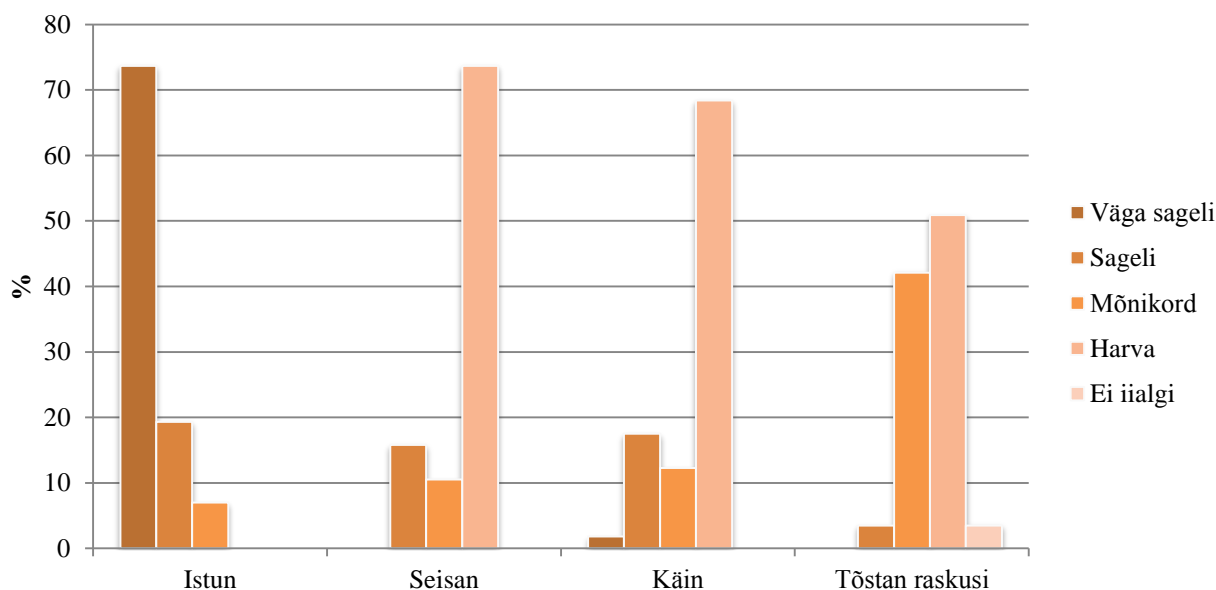
Ankeetküsitlusest võttis osa 57 inimest, mis moodustas sihtgrupist 43,8% ($n = 130$). Kõik uuritavad olid naissoost, keskmise vanusega $44,4 \pm 8,6$ aastat. Nooremasse vanusegruppi (27–41a) kuulus 59,6% ja vanemasse (42–63a) 40,4 % vastanutest. Valdav osa uuritavatest jäid pikkusevahemikku 152–165cm (68,4%) ning väiksem osa vahemikku 166–172cm (31,6%). KMI järgi liigitusid 44,6% normaalkaalu kategooriasse ($\text{KMI} 18,5\text{--}24,9 \text{ kg/m}^2$), 25% olid kerges ülekaalus ($\text{KMI} 25\text{--}29,9 \text{ kg/m}^2$), 28,5% vastanutest liigitusid rasvunute kategooriasse ($\text{KMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$) ning 1,8% alakaaluliseks [2]. Vastanutest 29,8% on suitsetajad. Uuritavatest 86% tegelesid õmblemisega, 10,5% tööde koordineerimisega ning 3,5% töötasid trukilöömise masinal. Enamus vastajatest (82,5%) on valitud ametikohal töötanud üle viie aasta, 1–5 aastase staažiga 12,3% ja vähem kui ühe aastase staažiga on ettevõttes töötanud 5,3% valimist (Tabel 1).

Statistilise andmetöötluse käigus selgus, et KMI suurenemine on seotud valudega alaseljas ($p = 0,05$). Statistiliselt olulist seost ei leitud valude esinemise ning vanuse ja pikkuse vahel. Nende töötajate seas, kes suitsetasid, esines enam randme/käelaba valusid ($p = 0,003$).

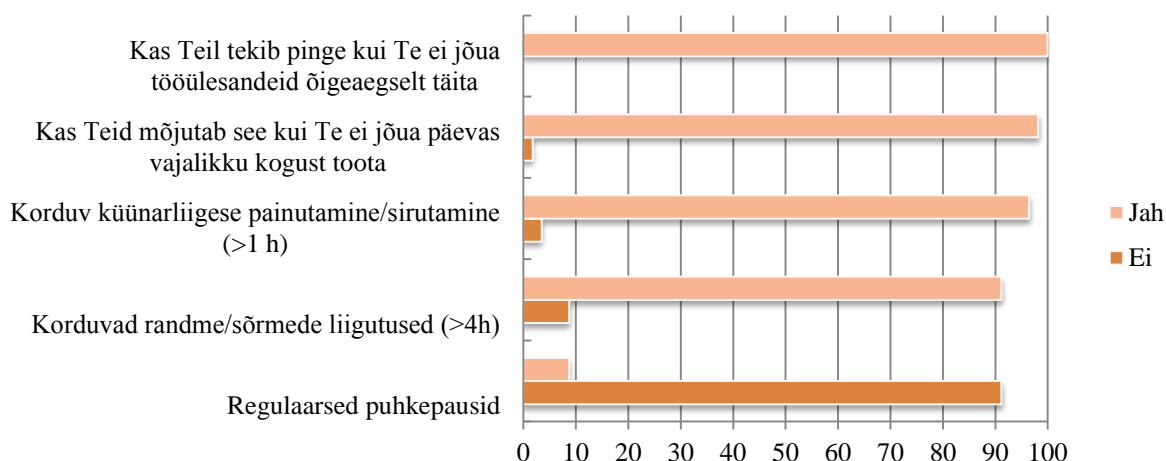
Tabel 1. Uuritavate kirjeldavad karakteristikud.**Table 1.** Descriptive characteristics of the participants.

Näitaja	Kategooria	Vastajate arv (n)	Vastajate osakaal (%)
Sugu	Naine	57	100
Vanus (aastat) keskmine 44,4±8,6	Nooremaelised	34	59,6
	Vanemaelised	23	40,4
Kehapikkus (cm) keskmine 163±4	152–165 cm	39	68,4
	166–172 cm	18	31,6
KMI (kg/m ²) keskmine 26,8 ± 6,5	Alakaal	1	1,8
	Normaalkaal	25	44,6
	Ülekaal	14	25,0
	Rasvumise I aste	11	19,6
	Rasvumise II aste	-	-
	Rasvumise III aste	5	8,9
Staaž antud ametis (aastat)	< 1	3	5,3
	1–5	7	12,3
	> 5	47	82,5
Põhitöö	Õmblemine	49	86,0
	Koordineerimine	6	10,5
	Trukimasinaga töö	2	3,5

Küsitluse tulemustest selgus, et 73,7% masinõmblejaid täidavad oma tööülesandeid väga sageli istudes ja harva seistes. Sageli teevad õmblejad seisvas asendis tööd 15,8% ja mõnikord 10,5%. Vastajatest enamus (68,4%) kõnnivad tööpäeva jooksul vähe. Vähem kui pooled on märkinud, et tõstavad raskusi mõnikord (42,1%) või harva (50,9%). Sageli puutuvad raskuste tõstmisega kokku vähesed (3,5%) (Joonis 1).

**Joonis 1.** Õmblejate hinnangud tegevuste sagedusele tööpäeva jooksul (% , vastajate osakaal).**Figure 1.** Evaluation of activities at work among sewing machine operators (% , response rate)

Kõik töötajad tunnistasid, et neil tekib pinget juhul kui tööülesanded jäävad õigeaegselt täitmata ning 98,2% on mõjutatud sellest, kui päevas ei suudeta vajalikku kogust tooteartikleid valmistada. Enamus vastajatel esines töös küünarliigese ning randme/sõrmede korduvliigutusi (96,5% ja 91,2% vastavalt). Enamus töötajatest (91,2%) ei tee tööpäeva jooksul regulaarseid puhkepause (Joonis 2).



Joonis 2. Õmblejate hinnangud tööpingele, korduvliigutustele ning puhkepauside võimalusele (% , vastajate osakaal)

Figure 2. Evaluation of strain at work, repeated movements and regular breaks among sewing machine operators (% , response rate)

Korrelatsioonanalüüs näitas, et mida rohkem täheldati küünarliigese painutamist/sirutamist tööpäeva jooksul, seda enam esines kaela- ($p = 0,05$) ning randme-/käelaba valusid ($p = 0,05$).

Enamasti (93%) puudub õmblejatel otsustusvabadus töö ajakava ja puhkepauside üle. Samuti puudub suurel osal (75,4%) otsustusvabadus töö sisu ja tegevuste üle ning ligi pooltel (47,4%) töövõtete ja tegevuste järjekorra üle. Enam kui pooled töötajatest (54,4%) saavad mõnikord ja 40,4% sageli abi juhtkonnalt ning ligi pooled (49,1%) saavad tuge kolleegidelt (Tabel 2). Otsustusvabaduse suurenemisega tugevnes valu alaseljas ($p = 0,02$) ning küünarliigese ($p = 0,01$). Juhtkonna ja kolleegide toetus ei mõjutanud valude esinemist.

Tabel 2. Õmblejate hinnangud otsustusvabadusele ning toetuse saamisele kolleegidelt ja juhtkonnalt (% , vastajate osakaal, (n), vastajate arv)

Table 2. Evaluation of decision latitude at work and support of colleagues and managers (% , response rate, (n), number of respondents)

Tegur	Sageli	Mõnikord	Harva	Mitte kunagi
Otsustusvabadus töövõtete ja tegevuste järjekorra üle	24,6 (14)	14 (8)	14 (8)	47,4 (27)
Otsustusvabadus töö sisu ja tegevuste üle	12,3 (7)	8,8 (5)	3,5 (2)	75,4 (43)
Otsustusvabadus oma töö ajakava ja puhkepauside üle	-	3,5 (2)	3,5 (2)	93 (53)
Abi või tugi kolleegidelt	33,3 (19)	49,1 (28)	8,8 (5)	8,8 (5)
Abi või tugi juhtkonnalt	40,4 (23)	54,4 (31)	3,5 (2)	1,8 (1)

Kõige rohkem esines valusid viimase aasta jooksul alaseljas (66,7%) ning viimase kuu jooksul kaelas (45,6%). Kõige vähem esines põlvevalu viimase aasta (14,8%) ja kuu jooksul (8,8%) (Tabel 3).

Tabel 3. Valude esinemissagedus kehapiirkondades viimase aasta ja kuu jooksul (% , vastajate osakaal, (n), vastajate arv)

Table 3. Incidence of musculoskeletal pain in the past 12 months and past month (% , response rate, (n), number of respondents)

Näitaja	Viimase 12 kuu jooksul	Viimase kuu jooksul
Alaseljavalu	66,7 (38)	33,3 (19)
Kaelavalu	61,4 (35)	45,6 (26)
Õlavalu	42,1 (24)	26,3 (15)
Küünarliigese valu	22,8 (13)	15,8 (9)
Randme/käelaba valu	50,9 (29)	33,3 (19)
Põlvevalu	14 (8)	8,8 (5)

Küsitluse tulemustest selgus, et enam kui pooltel (52,6%) esines valu kolmes või enamas kehapiirkonnas. Valud puudusid vaid 8,8%-l vastajatel (Tabel 4).

Tabel 4. Luu-lihasvalude esinemine õmblejatel kehapiirkondade arvu järgi (% , vastajate osakaal, (n), vastajate arv)

Table 4. Number of body sites of musculoskeletal pain among sewing machine operators (% , response rate, (n), number of respondents)

Valupiirkondade arv	Vastajate osakaal (arv)
0	8,8 (5)
1	15,8 (9)
2	22,8 (13)
3	28,1 (16)
4	14,0 (8)
5	7,0 (4)
6	3,5 (2)

Valusid esines viimase aasta jooksul kõige enam kestusega 1–6 päeva alaseljas (42,1%), kaelas (31,6%) ja randmes/käelabas (28,1%). Valusid kestusega 1–4 nädalat esines enim kaelas (19,3%) ning kestusega kauem kui üks kuu, esines enim alaseljas (14%) ja kaelas (10,5%) (Tabel 5).

Tabel 5. Valude kestus ning töölt puudunud päevade arv viimase aasta jooksul (% , vastajate osakaal, (n), vastajate arv)

Table 5. Duration of pain and missed working days in the past 12 months (% , response rate, (n), number of respondents)

Valupiirkond	n	Valude kestus			n	Töölt puudumise kestus			
		1–6 päeva	1–4 nädalat	1–12 kuud		0 päeva	1–5 päeva	6–30 päeva	>30 päeva
Alaseljavalu	38	42,1 (24)	10,5 (6)	14,0 (8)	56	84,2 (48)	5,3 (3)	8,8 (5)	-
Kaelavalu	35	31,6 (18)	19,3 (11)	10,5 (6)	57	38,6 (22)	31,6 (18)	19,3 (11)	10,5 (6)
Õlavalu	24	24,6 (14)	10,5 (6)	7 (4)	54	86 (49)	1,8 (1)	7 (4)	-
Küünarliigesevalu	13	12,3 (7)	5,3 (3)	3,5 (2)	52	87,7 (50)	1,8 (1)	1,8 (1)	-
Randme-/käelabavalu	29	28,1 (16)	14,0 (8)	8,8 (5)	55	93 (53)	-	1,8 (1)	1,8 (1)
Põlvevalu	8	7,0 (4)	1,8 (1)	5,3 (3)	0	-	-	-	-

Tabelis 5 on näha, et enamus töötajaid ei võta haiguslehte luu-lihasvalude tõttu. Õmblejatest ligi kolmandik (31,6%) neist on puudunud kaelavalu tõttu 1–5 päeva, ligi viiendik (19,3%) on puudunud 6–30 päeva ning kümnendik (10,5%) enam kui 30 päeva. Alaseljavalu on takistanud vähestel (8,8%) tööle minemast 6–30 päeval ning üksikud on alaseljavalu tõttu puudunud 1–5 päeva. Põlvevalu tõttu ei ole viimase 12 kuu jooksul puudunud ühelgi korral.

ARUTELU

Uuringu tulemustest selgus, et masinõmbleja tööpäev kulgeb peamiselt istuvas sundasendis ja ühetüübiliste korduvliigutustega. Õmbleja töö on monotoonne, vähese otsustusvabadusega töö ajaplaani, tegevuste sisu ja järjekorra ning puhkepauside üle. Seetõttu kuuluvad õmblejad riskigruppi, kellel esineb tööst põhjustatud luu-lihasvalusid. Masinõmblejatel esineb kõige enam kaela- ja õlavalu, kuid ka üla- ja alaselja ning randmevalu [6,8]. Antud uuringus on suurel osal õmblejatest esinenud valusid alaseljas, kaelas, randmetes ja kätes/sõrmedes ning üle poolte juhtudest esineb valusid kolmes ja enamas kehapiirkonnas. Ligi pooltel vastajatest on kestnud alaseljavalu ja kolmandikul kaelavalu 1–6 päeva ning samavõrd kestusega on puudunud vaid kaelavalu tõttu. Seoste analüüs näitas positiivset korrelatsiooni küünarliigese korduvliigutuste ning kaela randmevalude vahel ning otsustusvabaduse ning alaselja- ja küünarliigese valude vahel. Ka varasemad uuringud on näidanud seoseid õmblemistöö monotoonse, korduvliigutuste ja luu-lihaskonnaalude vahel [8]. Leitud on ka, et ülajäsemete valude ning tööga rahulolu ja füüsilise pingutuse vahel on tugev seos [9]. Hiinas läbiviidud uuringu tulemused kinnitavad, et tööst põhjustatud luu-lihaskonnaaevuseid on võimalik ennetada piisavas koguses regulaarsete puhkepauside ja tööülesannete mitmekülgsusega [8].

Käesolev uuring tõestab seda, et töötajate seas, kellel oli võimalik ise otsustada oma töövõtete, tegevuste sisu ja ajakava üle, esines rohkem valusid alaseljas ja küünarliigeses. Pigem oli väiksem otsustusvabadus tööülesannetes seotud pigem lihas-liigesvalu esinemissageduse vähenemisega. Varasemate uuringute tulemused on aga kinnitanud vastupidist, et luu-lihasvalude välja kujunemisel on mõjuvaks teguriks vähene otsustusvabadus [16]. Sellega seondult võib käesoleva uuringu tulemusi põhjendada asjaoluga, et nendel töötajatel, kellel on töö juures suurem otsustusvabadus, on kalduvus teha rohkem tööd ajahihikus ja seda puhkepauside arvelt. Seda toetab asjaolu, et vastajad tundsid valdavalt pinget olukorras, mil ei suudetud tööpäeva jooksul tööülesannetega valmis saada. Suur osa oli mõjutatud ka sellest, kui päevane vajalik kogus tooteartikleid jäi valmistamata. Varasemad uuringud rõivatööstuse töötajate hulgas on tõestanud, et lühema kestusega puhkepausid võivad olla üheks soodustavaks teguriks kaela- või õlavalu välja kujunemisel [17].

Individuaalsetest teguritest võib masinõmblejate hulgas luu-lihasvalude suurenemist soodustada suurenenud kehamassi ja -kaalu suhe. Antud uuring näitas, et mida suurem oli õmblejate KMI, seda rohkem esines valusid alaseljas. Ka teised teadlased on tõestatud, et suurema taljeümbermõõduga töötajate seas on alaseljavalude levimus suurem ning ülekaalulisus võib põhjustada ka valu õlgades ja randmetes [10,18]. Ülekaalulisuse põhjuseks võib olla tööst tingitud pidev istumine ja vähene liikumine. Samas on leitud lahendusi luu-lihasvalude vähendamiseks õmblejate hulgas, kus rotatsioon ja tööülesannete vahelduvus võimaldas paremini jaotada koormust ülakeha piirkonnas [8,9].

Samuti on suitsetamine suureks ohuteguriks tervise seisundi halvenemisel, mõjutades üleüldist elukestust ja -kvaliteeti. Mitmed kliinilised ja eksperimentaalsed uuringud on kinnitanud, et suitsetamisel on kahjulik mõju luu-lihaskonna seisundile. Käesolev uuring kinnitas, et suitsetamine on seotud valudega randmes/käelabas. Kuigi suitsetajate arv on kõrge kogu maailmas, pööratakse probleemi tõsidusele liiga vähe tähelepanu. Valude vähendamiseks on soovitatud suitsetamisest loobuda [19].

Mitmed uuringud on näidanud, et luu-lihaskonna valusid alaseljas, kaelas ja ülajäsemetes on võimalik vähendada töökoha sekkumistegevustega, näiteks istumisasendi ergonoomilisemaks kujundamisega, regulaarsete puhkepauside või füsioteraapia protseduuride abil. On tõendeid, et sekkumistegevuste abil on võimalik vähendada ka töölt puudunud päevade arvu [3].

JÄRELDUSED

Uuringu tulemustest selgus, et masinõmblejate töö eripäraks on monotoonus ning töö pidevas sundasendis ning küünarliigese-, randme- ja sõrmede korduvliigutustega. Tööpäevad on pingelised, kuna tuleb tagada tööülesannete õigeaegne täitmine ja kindel arv tooteartikleid tööpäeva jooksul. Valdav osa töötajatest ei saa ise otsustada töö ajakava, puhkepauside, töö sisu, töövõtete ja tegevuste järjekorra üle. Toetust kolleegidelt või juhtkonnalt saadakse enam kui poolte hinnangul mõnikord ja kolmandikul juhtudest sageli.

Suurel osal vastajatest on esinenud luu-lihaskonna valusid viimase 12 kuu jooksul ning rohkem kui pooltel on esinenud valusid kolmes või enamas kehapiirkonnas korraga. Kõige sagedamini esineb õmblejatel valusid alaselja-, kaela-, randme- ja sõrmede piirkonnas. Ligi pooltel vastajatest on kestnud alaseljavalud ja kolmandikul kaelavalud 1–6 päeva, kuid haiguspäevadel viibiti vähe. Vastajatest kolmandik puudus töölt kuni kuus päeva kaelavalu tõttu.

Leiti seosed õmblejate individuaalsete ja töökorralduslike tegurite vahel. KMI suurenemine on seotud valudega alaseljas ning töötajate seas, kes suitsetasid, esines enam randme- ja käelaba valusid. Mida rohkem esines korduvat küünarliigese painutamist/sirutamist, seda rohkem esines kaela- ning randme- ja käelaba valusid. Mida suurem oli otsustusvabadus töövõtete, tegevuste, töösisu, ajakava ning puhkepauside üle, seda enam esines alaselja- ning küünarliigese valusid.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Euroopa Tööohutuse ja Töetervishoiu Agentuur. Tööga seotud luu-lihaskonna vaevused. [WWW]. <https://osha.europa.eu/et/tools-and-publications/publications/factsheets/71> (04.03.2016).
2. University of California. Ergonomics. [WWW]. <https://ehs.ph.ucla.edu/sites/default/files/downloads/Ergonomics.pdf> (03.03.2016).
3. Buckle P.W., Devereux J.J. (2002). The nature of work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders. – *Applied Ergonomics*. Vol. 33, pp. 207-217.
4. Health and Safety Executive. (2015). Work-related Musculoskeletal Disorder Statistics – Great Britain. [WWW]. <http://www.hse.gov.uk/statistics/causdis/musculoskeletal/msd.pdf> (04.03.2016).

5. Summers K., Jinnet K., Bevan S. Musculoskeletal disorders, Workforce Health and Productivity in the United States. – *The Work Foundation*. [WWW]. <http://www.theworkfoundation.com/>
6. Schibye B., Skov T., Ekner D., Christiansen J.U., Sjøgaard G. (1995). Musculoskeletal symptoms among sewing machine operators. – *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. Vol. 21, No. 6, pp 427-434.
7. European Agency for Safety and Health at work. (2007). Work-related musculoskeletal disorders: Back to work raport.
8. Lu L., Chen S.G., Tang S.C, Wang S., He L.H., Guo Z.H., Li J.Y., Yu S. F., Wang Z.X. (2015). How Work Organization Affects the Prevalence of WMSDs. A case-control study. – *Biomed Environ Sci*. Vol. 28, No. 9, pp 627-633.
9. Wang. P.C., Rempel D.M., Harrison R.J., Chan J., Ritz B.R. (2007). Work-organizational and personal factors associated with upper body musculoskeletal disorders among sewing machine operators. – *Occup Environ Med*. Vol. 6, No. 4, pp. 806-813.
10. Moreira-Silva, I. Santos, R., Abreu, S., Mota J. (2013). Associations Between Body Massc Index and Musculoskeletal Pain and Related Symptoms in Different Body Regions Among Workers. – *Sage Open*. April-June, pp 1-6.
11. Kebede Deyyas W., Tafese A. (2014). Environmental and Organizational Factors Associated with Elbow/Forearm and Hand/Wrist Disorder among Sewing Machine Operators of Garment Industry in Ethiopia. – *Journal of Environtal and Public Health*.
12. Coggon D., Ntani G., Palmer K.T. (2012). The CUPID (Cultural and Psychosocial Influences on Disability) study: methods of data collection and characteristics of study sample. – *PLoS ONE*. Vol. 7, No. 7, pp. 1-22. [WWW]. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.003980> (07.03.2016).
13. Baecke J. A. H., Burema J., Frijters J.E.R. (1982). A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. –*The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 36, pp. 936-942.
14. Kuorinka I., Jonsson B., Kilbom A., Vinterberg H., Biering-Sorensen, F., Andersson, G., Jorgensen K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. – *Applied Ergonomics*. Vol. 18, No. 3, pp. 233-237.
15. World Health Organization Europe. Body Mass Index – BMI. [WWW]. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi> (02.03.2016).
16. De Souza Melzer A.C., Iguti A.M. (2010). Working conditions and musculoskeletal pain among Brazilian pottery workers. – *Cad Saúde Pública*. Vol. 26, No. 3, pp. 492-502.
17. Afonso L., Pinho M.E., Arezes P.M. (2014). Risk factors associated with musculoskeletal symptoms in footwear sewing workers. – *Occupational Safety and Hygiene II*, pp. 597-602.
18. Han T. S., Schouten J. S., Lean M.E., J.C. Seidell M.E. (1997). The prevalence of low back pain and associations with body fatness, fat distribution and height. – *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*. Vol. 21, pp. 600-607.
19. Abate M., Vanni D., Pantalone A., Salini V. (2013). Cigarette smoking and musculoskeletal disorders. – *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*. Vol. 3, No. 2, pp. 63-69.

Töövahendi käivitamise elektromüograafiline analüüs

Electromyographic analysis of starting a power tool

S. Aia, M. Reinvee

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja Ergonoomika osakond

Abstract. This study analyses the impact of power tool handle placement on muscle activity with the aim to minimize the health impact to employee. Bitalino microcontroller together with electromyographic module Flexvolt are used to measure the muscle activity. The focus of the measurements was the muscle activity at the time of starting the power tool. The power tool used was a angle grinder. Three postures were analysed.

Key words: Electromyography, forearm muscles, Bitalino, power tools

SISSEJUHATUS

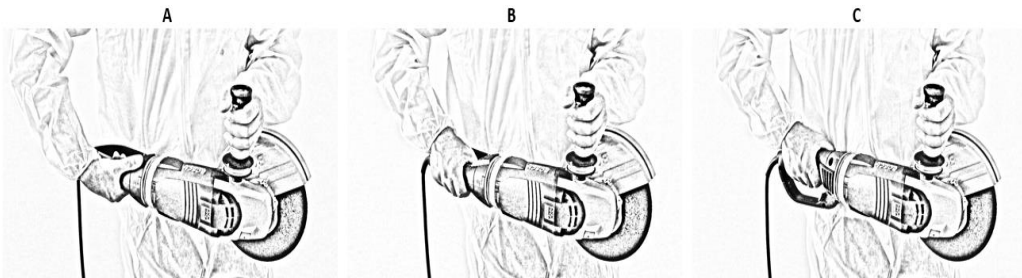
Lihaspinge ja sundasendid põhjustavad töötajatel mitmesuguseid vaegusi ning sellest tulenevalt uuritakse antud artiklis lihasaktiivsust elektritööriistadega töötamisel. Terviseriskid on suuresti tingitud füüsilistest ja biomehhaanikalistest teguritest nagu rakendatav jõud, töötaja asend tööriista suhtes, korduvad liigutused, stress ja vibratsioon [1]. Elektromüograafia (EMG) uurib lihastes tekkivaid bioelektrilisi signaale, mis viivad lihase kontraktsioonini [2]. Lihaste bioelektrilise aktiivsuse uuringud pneumaatiliste mutrikeerajate kasutamisel näitavad, et töötaja asend omab olulist mõju lihaste aktiivsusele ja erinevate seadmete puhul ei täheldata väga suuri erinevusi [3]. Radwin jt uuring näitab, et tööriista käivitamine on lihasaktiivsuse ja haardejõu seisukohast kõige olulisem tööfaas [4]. Antud artiklis keskendutakse töötaja koormusele elektritööriistaga (ketaslõikuriga BOSCH GWS 24-230 LVI) töötamisel, seda kolme erineva tööasendi puhul. Uuring vaatleb tööriista käepideme asendi mõju lihasaktiivsusele ning mil viisil on võimalik vähendada töötaja lihaspinget tööriistaga pikema aja jooksul töötamisel.

MATERIAL JA METOODIKA

Uuringu käigus mõõdeti käe lihaste aktiivsust elektritööriistaga töötamisel kolmes asendis (joonis 1). Asendi A puhul on töövahendi käepide keeratud risti töövahendi lõikekettaga ning seadmega töötades on küünarvars supineeritud ning ranne painutatud (fleksioon) ca 45-kraadise nurga all. Töövahendi käivitamine toimub suuresti nimetis ja keskmise sõrmega. Asendi B juures on töövahendi käepide samas asendis nagu asendi A puhul, küünarvars neutraalasendis, kuid seadme käivitamine toimub pöidlaga. Asendi C puhul on töövahendi käepide keeratud piki ketta liikumise suunda. Töövahendi käivitamisel langeb põhiline koormus nimetis ja keskmisele sõrmele.

Mõõdeti parema ja vasaku käe pindmisele sõrmepainutaja (m. flexor digitorum superficialis), sõrmedesirutaja (m. extensor digitorum) ning õlavarre kakspea lihase (m. biceps brachii) bioelektrilist aktiivsust. Andmehõiveks kasutati biosignaalide

mõõtmiseks mõeldud [5] 10-bitist mikrokontrollerit Bitalino (PLUX wireless biosignals S.A., Portugal), mille külge ühendati nelja kanaliline elektromüograafia moodul FlexVolt (Flexvolt Biosensor, USA). Andmetöötluse huvides mõõdeti lisaks lihaste bioelektrilisele aktiivsusele ka töövahendi vibratsiooni kiirendusanduriga ADXL335 (ITEAD Intelligent Systems Co.Ltd, Hiina). Vibratsiooni amplituudi kasutati asendite ja kordusmõõtmiste tulemuste sünkroniseerimiseks. Iga vaatlusalune käivitas töövahendit kokku 18 korda (kolm asendit, kolm kordust, vasaku ja parema käe elektrilist aktiivsust mõõdeti eraldi).



Joonis 1. Tööriistaga töötamise asendid.

Figure 1. Working positions with operating the power tool.

Katse käik (töotsükkel) jagati tinglikult kolmeks: kaks sekundit ettevalmistusajaks, kuus sekundit ketaslõikuril käivitamisjärgseks töötamiseks ja üheksa sekundit ketta pöörlemise peatumiseks. Väsimuse mõju vähendamiseks jäeti katsete vahele kahe minutiline paus.

Mõõtmistulemuste töötlemiseks kasutati arvutiprogrammi Matlab (MathWorks, Inc., USA), lihaste bioelektrilise aktiivsuse andmed filtreeriti Butterworth tüüpi ribapääs filtriga 10...450 Hz, seejärel filtreeriti signaali amplituudi absoluutväärtust Butterworth tüüpi madalpääsfiltriga, mille lõikesagedus oli 2 Hz. Asendite võrdlemiseks leiti eeltoodud viisil töödeldud bioelektrilise aktiivsuse töötsükkli kestusel (15 s) vastav integraal. Lihastevaheliseks võrdluseks lihaste bioelektriline aktiivsus normaliseeriti skaalal rahuoleku aktiivsus kuni referents kontratsiooni aktiivsus (valem 1).

$$nEMG = \frac{EMG - \min EMG}{refEMG - \min EMG} \quad (1)$$

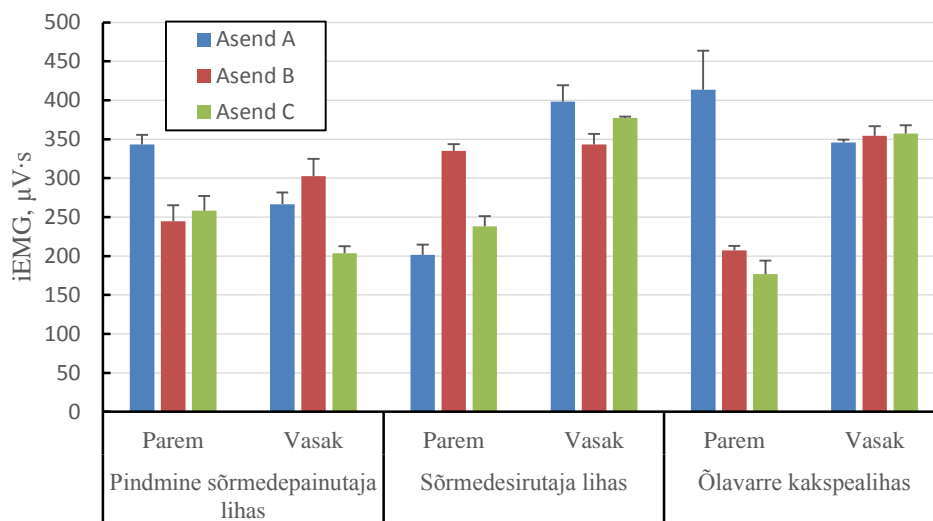
kus: nEMG – emg normaliseeritud aktiivsus %;
refEMG – lihase emg aktiivsus referentskontraktsioonil, μV ;
minEMG – lihase emg aktiivsus rahuolekus, μV ;
EMG – lihase emg aktiivsus, μV .

Referents kontraktsiooniks valiti töövahendi hoidmine ühe käega, säilitades seejuures 90° nurka õlavarre ja küünarvarre vaheli

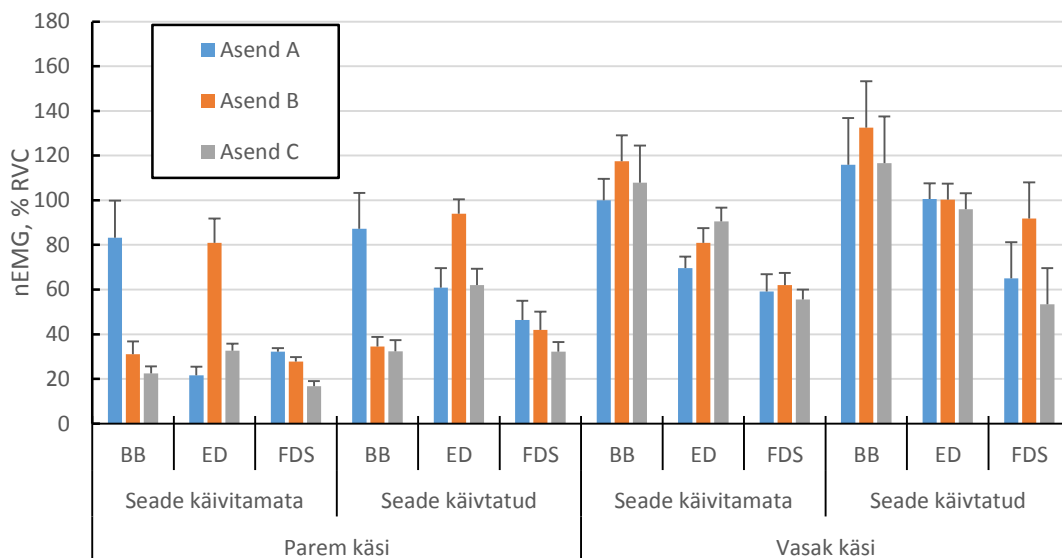
TULEMUSED JA ARUTELU

Kogu töötsükli iseloomustava integreeritud EMG väärtused kolme tööasendi korral on esitatud joonisel 2. Suurem, kuid asendite lõikes vähem muutuvam

lihasaktiivsus avaldub vasakul käel, mis peab hoidma töövahendit ning fikseerima kauguse töötajast. Parem käsi toimib töötamise protsessis töö täpsuse ja seadme käivitamise tagamise rollis ning lihasaktiivsus sõltub tööasendist. Ootuspäraselt on asendi C puhul on mõlema käe puhul lihasaktiivsus madalam kui teiste uuritud asendite puhul. Ülevaade lihasaktiivsuse suurenemisest seadme käivitamisel on esitatud joonisel 3.



Joonis 2. Töotsükli (15 s) Integreeritud EMG
Figure 2. Integrated EMG of a 15 s work cycle.



Joonis 3. Ülevaade lihasaktiivsuse muutustest erinevatest tööasendites töövahendi käivitamisel.[6]

Figure 3. An overview regarding the changes in muscle activity upon starting the power tool.[6]

Vasaku käe mõõtmistulemused erinevad üsna vähe asendite lõikes, mis tähendab, et töövahendi sõltumata tööasendist on vasaku käe ülesanne töövahendi hoidmine (hoitav mass on konstantne). Parema käe puhul varieeruvad mõõtmistulemused rohkem, sõltudes nii randme kui küünarvarre asendist. Loogiline on ka mõlema käe lihaste bioelektrilise aktiivsuse muutused käivitatud töövahendi ja käivitatud töövahendi puhul. Tulemustest on näha, et elektrilise aktiivsuse suurenemist kõikide uuritavate lihaste osas. Enamasti on normaliseeritud emg väärtus alla 100%, mis tähendab, et kahe käega töövahendi hoidmisel jaotub töövahendi hoidmisest tulenev koormus käte vahel. Paraku sõltub lihase bioelektriline aktiivsus lisaks kontraktsioonil tekitatavale jõule ka lihase pikkusest [2]. Küünarvarre ja õlavarre vahelise nurga muutumine on seotud õlavarre kakspealihase pikkusega, seetõttu on õlavarre kakspealihase normaliseeritud emg suurem referentskontraktsiooni tulemustest s.o >100%.

JÄRELDUSED

Mõõtmistulemustest lähtudes ei muutunud vasaku käe lihasaktiivsus uuritud kolme asendi puhul eriti, kuna vasaku käe positsioon jäi kõigi asendite puhul samaks. Sellest tulenevalt tuleb edasistes mõõtmistes keskenduda ainult parema käe lihasaktiivsuse mõõtmisele, mis asendite lõikes rohkem varieerus.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Armstrong TJ, Radwin RG, Hansen DJ, Kennedy KW. 1986. Repetitive trauma disorders: job evaluation and design. *Hum Factors*. 28(3), 325-336.
- [2] Kumar S. Electromyography in *Ergonomics*. 1-2, 1996.
- [3] Forsman M, Cyren H, Möller T, Kadefors R, Mathiassen SE. "Muscle activity during securings with pneumatic nutrunners" *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress*. 2000.
- [4] Radwin R G, Vanbergeijk E, Armstrong T J. "Muscle response to pneumatic hand tool torque reaction forces" *Ergonomics*, vol. 32 no 6, pp 655-673, 1989.
- [5] J. Guerreiro, A. Lourenço, H. Silva, and A. Fred, "Performance Comparison of Low-cost Hardware Platforms Targeting Physiological Computing Applications," *Procedia Technol.*, vol. 17, pp. 399–406, 2014.
- [6] R. Merletti and P. Torino, "Standards for reporting EMG data," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 9, no. 1, pp. 3–4, 1999.

Mootorsõidukis kasutatava laste turvavarustuse koolituse vajalikkus Eestis

The necessity of training for using child safety seat in motor vehicle

E. Pabo, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Ergonoomika osakond

Abstract. The purpose of these research is to find out the necessity of training for using child safety seats. Two sample group were studied to find out their knowledge before training and after training. First group were parents who obtained in a 2our lecture and only 5 of them volunteered. Second group were police officers obtained 18 participants. The results showed that the main mistakes or lack of knowledge was manly placing the car seat into the car and restraining child into the car seat. Most mistakes were maid by the question of how are the car seat margins marked. Up to 100% of participants did not know that before. After the lecture almost all knew the right answer. Previous studies haw shown that 75% of parents will use car seat when child is wearing thick winter clothes. There were no difference of answer this time. After lecture most participants knew that it is not correct to use car seat with thick winter clothes. There were lack of knowledge of the right hight and placement of the car seat straps. Also most did not knew what regulations the child restraint systems must meet. The study showed that the training helped to improve the knowledge of using child restraint systems.

Key words: child restraint system, child car seat, child safety seat, turvatool, turvahäll.

SISSEJUHATUS

Alates aastast 1996 on Eestis kohustuslik kasutada lapsel mootorsõidukis spetsiaalset turvavarustust [1]. Varasemalt on läbi viidud mitmeid uuringuid turvavarustuse kasutamise sagedusest, kuid väga vähe on uuritud selle korrektset kasutamist [2]. Teada on, et turvavarustuse vale kasutamine vähendab oluliselt selle kaitsefunktsiooni [3].

Mootorsõidukid on disainitud selliselt, et see sobiks keskmise täiskasvanuga ning ei arvesta väikelapse vajadusi. Muutmaks autosõitu lapsele mugavamaks ja turvalisemaks on kasutusele võetud spetsiaalsed turvavahendid, mis kinnitatakse autosse ning mis pakuvad avarii korral lapsele kaitset [4]. Saksamaal tehtud uuringust selgus, et *isofix* (*International Organisation for Standardisation standard ISO 13216*) kinnitused vähendasid oluliselt turvavarustuse valekasutust [5]. Kui varasemalt oli peamiseks probleemiks turvavarustuse liiga lõtv kinnitamine autosse, siis *isofix-i* kasutuselevõtuga vähenes see oluliselt. Samas näitavad uuringud, et ka lihtsa kinnitamise juures tehakse olulisi vigu, mis võivad viia traagiliste tagajärgedeni. Varasematel aastatel tehtud uuringud näitavad, et sageli tehakse vigu lapse asetamisel turvavarustusse. Enamasti ei kinnitata turvarihmasid piisavalt tugevalt või asetatakse laps paksude riietega turvavarustusse. Sellised esialgu tühisena tunduvad vead võivad avarii korral põhjustada ränki tagajärgi. [6, 7] Turvavarustuse korrektse kasutamise saavutamiseks on teostatud erinevaid uuringud, et välja selgitada milline meetod annab paremaid tulemusi informatsiooni edastamiseks. Uus-Meremaal läbi viidud uuringust selgus, et kõige efektiivsemaks osutus kobinatsioon intervjuust, vaatlusest ja ankeedist.

Intervjuu ja ankeedi abi selgitati välja teoreetilised teadmised ja vaatlusega praktilised oskused. Kõige tõhusamaks osutus praktiliste oskuste õpetamine. [8]

Turvavarustuse kasutamisel tuleb jälgida hoolega selle tootjapoolset kasutusjuhendit ja selle vastavust kehtestatud nõuetele. Hetkel kehtib turvavarustusele kaks nõuet: ECE R44 ja R129. R44 jaguneb omakorda 03 ja 04 nõudeks, millest esimene on osades riikides (näiteks Saksamaa) keelustatud, kuna peetakse vananenuks. Hetkel on käimas üleminekuperiood, mille lõppedes kaotab kehtivuse R44 nõue ja tulevikus jääb kehtima ainult R129, mis toob endaga kaasa mõningaid muudatusi turvavarustuse kasutamisel. [9, 10, 11, 12]

MATERIAL JA METOODIKA

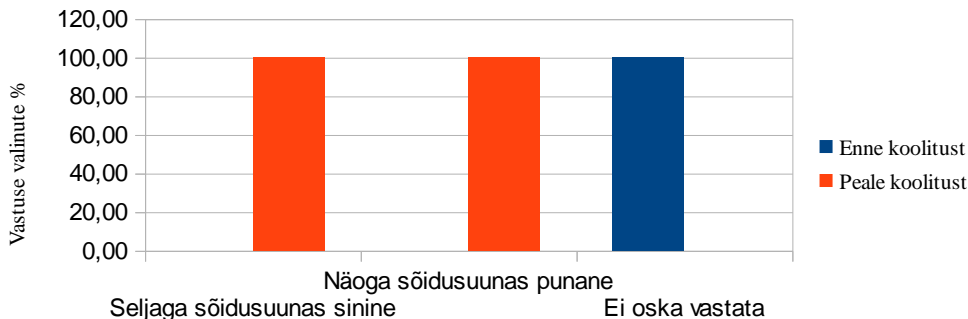
Antud uuringu eesmärgiks on välja selgitada mootorsõidukis kasutatava laste turvavarustuse koolituse vajalikkus Eestis. Uuringu ülesanneteks kindlaks teha peamised küsimused, milles tehakse vigu ning kas need kattuvad varasemate uuringutega. Selle selgitamiseks viidi läbi anketeerimine ja koolitus. Koolitusel osalejatele jagati enne koolitust ankeedid, seejärel viidi läbi koolitus kestusega 2h ning peale koolitust jagati osaljetale sama ankeet, mis koolituse alguses. Saadud ankeetide tulemusi võrreldi, et teada saada, kas koolitusel on mõju teadmistele. Uuringu läbiviimiseks koostati ankeedid 17 kuni 23 küsimusega. Uuringus osales kaks gruppi, kellest esimese moodustasid lapsevanemad ning koolitus viidi läbi Tartu Tervishoiu Kõrgkoolis. Koolitusel osalenutest olid nõus uuringus osalema viis lapsevanemat. Teine koolitus toimus Politsei- ja Piirivalveameti Lääneprefektuuris (edaspidi PPA) ning uuringus oli nõus osalema 18 koolitusel osalenut. Ankeedid olid koostatud vastavalt sihtgruppidele ning mõned küsimused erinesid. Lapsevanemate grupi ankeet sisaldas 23 küsimust ja PPA ankeet sisaldas 17 küsimust. Suures osas ankeetide küsimused kattusid. Küsimuste koostamisel arvestati eelnevalt läbi viidud uuringuid laste turvavarustuse kasutamise kohta. Aluseks võeti peamised vead, mida lapsevanemad teevad. Saadud tulemusi analüüsiti, et leida seos teadmiste vahel enne koolitust ja peale koolitust. Analüüsimiseks kasutati LibreCalk programmi, mille abil viidi läbi *t-test*. Ankeetidele vastamine oli anonüümne ning vabatahtlik. Ei küsitud delikaatseid isikuandmeid.

TULEMUSED JA ARUTELU

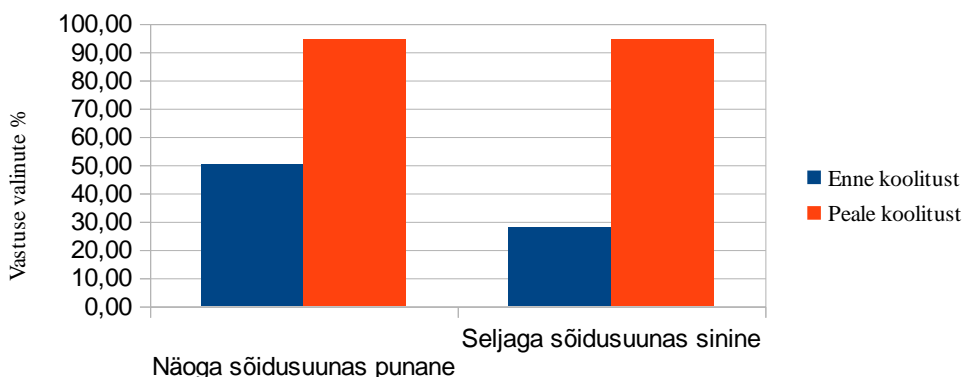
Läbiviidud uuringus selgus viis peamist küsimust, millele vastamisel esinesid kõige suuremad muutused võrreldes enne koolitust ja peale koolitust ($p < 0,05$): millistele nõuetele peab turvavarustus vastama; millise värviga on tähistatud turvavarustuse kinnitused sõltuvalt selle asetusest sõidusuuna suhtes; *isofix* kinnituse kasutamine koos turvavöökinnitusega; millisel kõrgusel peavad asetsema turvarihmad sõltuvalt turvavarustuse asetusest sõidusuuna suhtes; lapse asetamine turvavarustusse paksude talveriietega.

Kõige vähemteati enne koolitust turvavarustuse kinnituste värvuste tähistust. Vastavalt kehtestatud nõuetele peavad näoga sõidusuunas kasutatava turvavarustuse kinnitused olema tähistatud punase värviga ja seljaga sõidusuunas kasutatava turvavarustuse kinnitused tähistatud sinise värviga. Lapsevanemate grupis ei osanud selle küsimusele vastata 100% uuritavatest (joonis 1) ning PPA grupis teadis näoga

sõidusuunas kinnituse tähistust enne koolitust 50% vastanutest ja seljaga sõidusuunas tähistust 27,78% vastanutest (joonis 2).



Joonis 1. Turvavarustuse kinnituse tähistuse värvus sõltuvalt asetusest. Lapsevanemate grupp.



Joonis 2. Turvavarustuse kinnituse tähistuse värvus sõltuvalt asetusest. PPA vastused.

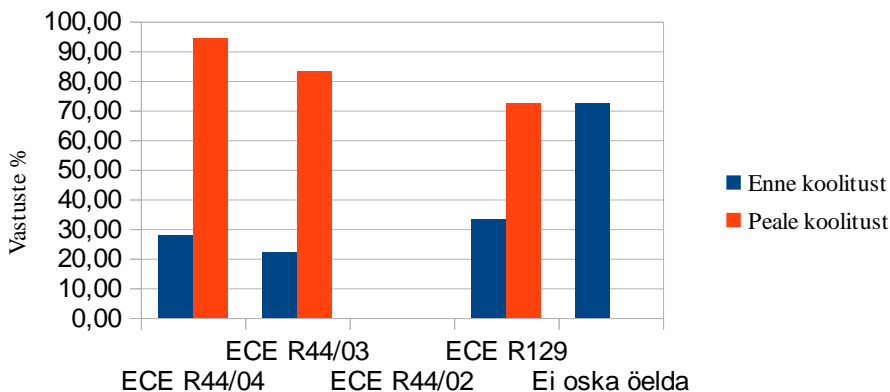
Turvavarustuse korrektse kinnitamise teine oluline küsimus, millele ei teatud vastust või vastati valesti oli *isofix* kinnituse kasutamine koos turvavööga. Uuritavatele esitati küsimus, kas *isofix* võib kasutada koos turvavööga, et tõsta turvalisust. Lapsevanemate grupis valis „jah” vastuse või ei osanud antud küsimusel vastata 40% osalenutest. Peale koolitust teadis õigest vastust 60% uuritavatest. PPA grupis valis enne koolitust „jah” vastuse 33,3% või ei osanud vastata 44,4% uuritavatest. Õiget vastust teadis enne koolitust 22,2%. Peale koolitust oskas küsimusele õigesti vastata 94,4% vastanutest, valesti vastas peale koolitust 5,6%.

Varasemad uuringud on näidanud, et 75% lapsevanematest asetas lapse turvahälli paksude riietega. Antud uuringust selgus, et enne koolitust valis „jah” vastuse 40% lapsevanematest ja 22,2% PPA vastanutest, siis peale koolitust valis eitava vastuse 100% mõlema grupi vastanutest.

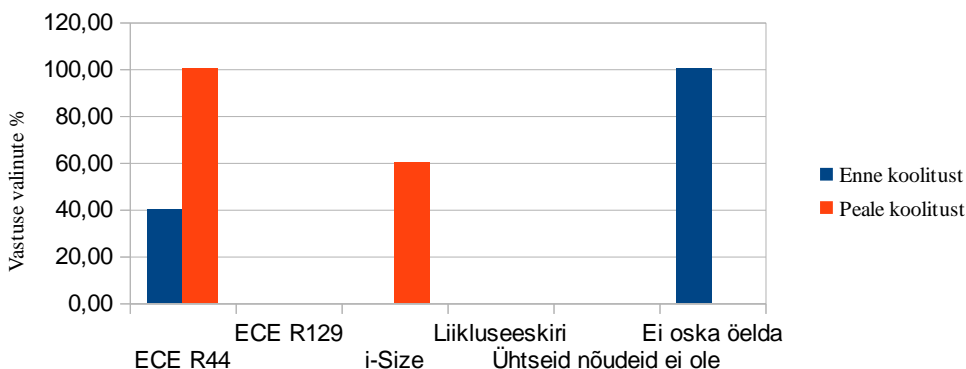
Turvarihmade asetus lapse õlgade suhtes vastavalt turvavarustuse asetusest sõidusuuna suhtes küsimus valmistas raskuseid mõlemas grupis. Enne koolitust teadis õiget vastust näoga sõidusuunas asetuse korral 60% lapsevanemate grupi vastanutest ja 38,9% PPA vastanutest. Seljaga sõidusuunas asetuse korral teadis õiget vastust 55,6% PPA vastanutest. Lapsevanemate grupist ei teadnud keegi õiget vastust. Peale koolitust teadsid õiget vastust näoga sõidusuunas turvavarustuse korral 72,2% PPA vastanutest

ja 80% lapsevanematest. Seljaga sõidusuunas asetuse korral oli õigete vastuste tulemus 80% lapsevanemate grupis ja 88,9% PPA grupis.

Turvavarustusele on rahvusvaheliselt kehtestatud kindlad nõuded, mida peavad tootjad järgima ja vastavalt sellele lisatakse turvavarustusele ka vastav tähistus. Kehtestatud nõudeid teadis enne koolitust kuni 33,3% PPA grupi (joonis 3) vastanutest ja 40% lapsevanemate grupi (joonis 4) vastanutest. Peale koolitust teadis enamus vastanutest ECE R44 nõuet, vähem teati uut R129 ehk i-Size nõuet.



Joonis 3. Turvavarustusele kehtestatud nõuded. PPA vastanud.



Joonis 4. Turvavarustusele kehtestatud nõuded. Lapsevanemate grupi vastused.

JÄRELDUSED

Uuringust selgus, et koolitusest oli kasu punktides, mis puudutasid turvavarustuse kinnitamist autosse või lapse kinnitamist turvavarustusse. Turvavarustuse vale kasutamine vähendab oluliselt selle kaitsefunktsiooni, seega võib järeldada, et koolitus aitab vähendada valekasutust. Kuna Eestis ei teostata kontrolli müüdava turvavarustuse üle, siis on oluline, et turvavarustuse kasutajad (lapsevanemad, hooldajad jt) teaksid millistele nõuetele see vastama peab ja kuidas antud märgistust ära tunda.

Uuringus osalejate arv oli küllaltki väikesearvuline ja täpsemate andmete saamiseks peaks uuritavaid olema rohkem. Kuna uuringus osalemine tähendas osalemist 2h loengul, siis see oli peamiseks probleemiks rohkemate uuritavate leidmiseks. Lisaks tuleks koolitusel panna suuremat rõhku praktilisele tegevusele.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Liiklusseadus. (vastu võetud 17.06.2010 viimati jõustunud (01.07.2011). Elektrooniline Riigi Teataja. <https://www.riigiteataja.ee/akt/125052012009>
2. Liikluskäitumise monitooring. (2012). AS Teede Tehnokeskus. Maanteeamet http://www.mnt.ee/public/liiklusuuringud/LIMO-2012_aruanne_28-01-2013.pdf
3. Nahum, A. M. ja Melvin., J. W. (Ed.). (2002). Accidental Injury: Biomechanics and Prevention. University of California at San Diego School of Medicine. USA.
4. Jakobsson, L., Isaksson-Hellman, I., Lundell, B. (2005). Safety for the Growing Child – Experiences from Swedish Accident Data. Volvo Car Corporation, Sweden. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0330-O.pdf>
5. Langwieder, K., Hummel, TH., Finkbeiner, F. (1999). Injury risks of children in cars depending on the type of restraint. Special session on Child Occupant Protection.
6. Lesire, P., Cuny, S., Alonzo, F., Cataldi, M. Misuse of Child Restraint Systems in Crash Situations – Danged and Possible Consequences. (2007). Association for the Advancement of Automotive Medicine. 51: 207-222 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3217516/>
7. Transportation of infants and children in motor vehicles. (2008). Canadian Paediatric Society. Paediatr Child health, 13(4): 313-318.
8. Simpson, J. C., Weren, J., Chalmers, D., J., Stephenson, S., C., R. Examining child restraint use and barriers to their use: lesson from a pilot study. (2003). Injury Prevention Research Unit, University of Otago, Dundin, New Zealand
9. Maxi Cosi Citi User Guide. (2005). Maxi- Cosi
10. Toote nõuetele vastavuse seadus. (2010). Riigikogu. Tallinn <https://www.riigiteataja.ee/akt/128062012030?leiaKehtiv>
11. Regulation No 44 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of restraining devices for child occupants of power- driven vehicles ('Child Restraint Systems'). (Vastu võetud 10.11.2010). - Eur-Lex Juurdepääs Euroopa Liidu õigusaktidele [WWW] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:233:0095:0210:en:PDF>
12. ÜRO Euroopa Majanduskomisjoni (UN/ECE) eeskiri nr 129 – mootorsõidukis kasutatavate lapse täiustatud turvasüsteemide tüübikinnituse ühtsed sätted. (2014). Euroopa Liidu Teataja. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0329%2802%29&qid=1398848524314&from=EN>

Tänavapuhastusmasina juhi töökeskkond *Street cleaning machines managers work environment*

K. Kurrikoff, T. Sirge

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

Abstract. The purpose of this article is to clarify the risk factors that affect the drivers of street sweepers and to find ways to alleviate these risk factors. Questionnaires were given to the workers to find out the main risk factors.

Key words: street sweepers, drivers of street sweepers, occupational risk factors, street cleaning, health problems

SISSEJUHATUS

Tänavapuhastustöötajate seas on läbi viidud mitmeid uuringuid, kus leiti, et töötajate seas on suur oht meditsiiniliste ja biojäätmatega kokkupuutumisel nakatuda erinevatesse haigustesse. Leiti, et meditsiiniliste jäätmatega kokkupuutumisel on oht nakatuda HIV-i ja hepatiiti. Samuti leiti, et tänavapuhastustöötajatel on teistest suurem võimalus nakatuda erinevatesse kopsuhaigustesse [1,2].

Tööandja tagab, et töötaja kasutusse antav töövahend sobib tööülesande täitmiseks ning et seda hoitakse sellises korras, mis tagab töövahendi ohutuse kogu kasutusaja vältel. Kui ohutust ei ole võimalik täielikult tagada, tuleb rakendada sobivaid abinõusid terviseriski optimaalseks vähendamiseks [3]. Tänavapuhastusmasina juhi ametikoha nimetus on mehhanisaator-puhastustööline (edaspidi töötaja). Töötaja allub oma tegevuses ning tema tööd kontrollib Tartu osakonna juhataja, osakonna juhataja asetäitja ja vahetuse meister. Töötaja juhendub oma tegevuses Eesti Vabariigi seadustest ja Vabariigi Valitsuse määrustest, tööandja juhataja käskkirjadest, tööandja juhataja või teda asendava isiku seaduslikest korraldusestest ja juhenditest, töökorralduse reeglitest ja ametijuhendist. Ametikoha eesmärk on tehoiutööde ja heakorratööde teostamine mehhaaniliselt ja käsitsi vastavalt kehtivatele tehoiutööde tehnoloogia nõuetele ja teistele juhenddokumentidele ning õigusaktidele (mehhanisaator-puhastustöölise ametijuhend). Töötaja tööülesanded (ametijuhend):

1. Tehoiu- ja heakorratööde teostamine mehhaaniliselt ja käsitsi vastavalt kehtestatud kvaliteedinõuetele.
2. Vahetuse algul kinnitama oma allkirjaga teekonnaleht-volitusel temale usaldatud sõiduki, mehhanismi ja seadmete tehnilist korrasolekut ning spodiomeetri näidu ja kütusejäägi õigsust.
3. Vahetuse lõppedes täitma teekonnaleht-volituse, kajastades tehtud tööd korrektselt ja ausalt.
4. Ühekordsete tellimuste täitmisel vormistama veokorralduse nõuetekohaselt.

Töö eesmärgiks oli välja selgitada ohutegurid, mis mõjutavad tänavapuhastuse töötajaid kõige enam.

MATERJAL JA METOODIKA

Ankeetküsimustik on koostatud rahvusvaheliselt tunnustatud küsimustike alusel ning on muudetud vastavalt tänavapuhastus-mehhanisaator ametikohale [4,5,6]. Küsimustel olid valikvastused, kus sai valida „väga sageli“, „sageli“, „harva“, „väga harva“ ja „mitte kunagi“ vahel. „Väga sageli“ tähendas, et ohutegurit esines peaaegu iga päev, „sageli“ tähendas, et mõni kord nädalas, „harva“ tähendas, et mõni kord kuus, „väga harva“ mõni kord aastas ning „mitte kunagi“ tähendas, et ohutegurit ei esine. Esinemissagedus arvutati töös ümber pallideks, kus 5 tähendab „väga sageli“ ja 1 „mitte kunagi“. Küsimused hõlmasid endas füüsikalisi, bioloogilisi, psühholoogilisi ja psühhosotsiaalseid ohutegureid. Samuti olid küsimused töö iseloomu, sundasendite ja korduvliigutuste, kehaliste vaevuste ja töökorralduse kohta.

Töös kasutatud aritmeetilised keskmised on leitud valemiga:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

kus \bar{x} – parameetri aritmeetiline keskmine;

x_i – parameetri i-ndas väärtus;

n – andmete arv.

Töös arvutatud standardhälbed on leitud valemiga:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

kus σ – standarhälve;

x_i – parameetri i-ndas arv väärtus;

n – katsete arv.

Aritmeetilise keskmise ja standardhälbe arvutusi on kasutatud ankeetküsitluste tulemuste analüüsimisel.

TULEMUSED

Küsitlusuuringus osales 21 töötajat 42-st. Kõik vastanutest olid mehed. Töötajad olid vanuses 24 kuni 64 eluaastat ning keskmiseks vanuseks (\pm SD) oli $43,1 \pm 20,1$ aastat ja tööstaažiks $7,5 \pm 11,1$ aastat. Keskmine töökoormatus oli 51 tundi nädalas, mis tähendab, et töötajad teevad ületunde [7]. Töötajate antropomeetrilised ja tööga seotud keskmised näitajad (\pm SD) on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Töötajate (n=21) kehalised parameetrid, tööstaaž ja töökoormatus (keskmine±SD)**Table 1.** *Antropometrical data, work experience and workload data (mean±SD) of employees (n=21)*

Kehamass	Pikkus	KMI	Vanus	Tööstaaž	Koormatus
(kg)	(cm)		(a)	(a)	(h/näd)
87,2±19,2	178,7±11,2	27,4±5,6	43,1±20,1	7,5±11,1	51±11,9

Tulemustest selgub, et töötajad on küllaltki staažikad ning lisaks suurele töökoormatusele on keskmine töötaja ka ülekaalus (KMI > 25). Samuti puudujääkidest ankeetküsitluse põhjal saab välja tuua ergonoomikaalase juhendamise puudumise (52,4% töötajatest) ja 66,7% töötajatest suitsetab, mis tõstab erinevate terviseprobleemide riski. 95,2% töötajatest on saanud esmaabialase väljaõppe ning ka need 95,2% usuvad, et nad suudavad õnnetusjuhtumi korral esmaabi anda. 52,4% töötajatest tarbivad alkoholi mõni kord nädalas, 33,3% mõni kord kuus ja 14,3% mõni kord aastas. Viimasest tervisekontrollist on keskmiselt möödas 2 aastat ja 3 töötajat pole üldse tervisekontrolli läbinud. 95,2% töötajatest pole viimase 2 aasta jooksul kordagi tööga seotud põhjustel olnud haiguslehel ning 4,8% on olnud 10 päeva. 76,2% töötajatest ei muudaks oma töökorralduses midagi ja 23,8% muudaks, välja oli toodud ebasobiva töögraafiku esinemine. 95,2% töötajatest olid saanud tööohutuslase juhendamise. Füüsilistest ohuteguritest kõige enam esines müra töökeskkonnas (väga sageli 48% ja sageli 38%) ning vibratsiooni (väga sageli 24% ja sageli 48%). Müra peamiseks tekkepõhjuseks oli masina mootori poolt tekitatud müra (62%) ning vibratsiooni esines kõige enam kogu kehale (väga sageli 33% ja sageli 38%). Kõige enam esines ühtlast müra (48%), mis tuleneb masina mootoris. Õhutemperatuuri reguleerimise võimalusega olid suurem osa töötajatest rahul (väga sageli 43% ja sageli 29%) ning ka tuuletõmbust esines pigem harva (esinemissagedus 2,6 palli). Psühholoogilistest ja psühhosotsiaalsetest ohutegurite puudustest võib välja tuua töötasu mittevastavuse (esinemissagedus 3,6 palli), karjäärivõimaluse puudumise (71%) ning ajapuuduses töötamise (esinemissagedus 3 palli). Samuti töötajad tunnetavad, et nende töö on vastutusrikas (33% väga sageli ja 48% sageli). Positiivse poole pealt saab välja tuua, et töötajad saavad enamjaolt ise puhkepause teha (62% väga sageli ja 29% sageli). See tähendab, et ei ole kindlaid lõuna pidamise ega puhkamise kellaagaseid. Samuti töö vastab enamjaolt taotlustele (esinemissagedus 3,5 palli) ning sagedalt saadakse ka nõuandeid kolleegidelt (esinemissagedus 3,6 palli). Töö iseloomu ja bioloogiste ohutegurite suurimaks miinuseks peetakse öötundidel töötamist (esinemissagedus 4,4 palli) ja vahetustega tööd (esinemissagedus 4,4 palli). Töö iseloom on selline, et töötatakse vahetustega ning töö nõuab suurt süvenemist (esinemissagedus 4 palli) ja pädevust (esinemissagedus 4,1 palli) ning sageli puututakse kokku ka nakkusohtlike materjalidega nagu tolm ja kemikaalid (esinemissagedus 3,7 palli). Positiivse poole pealt saab välja tuua, et enamjaolt ollakse rahul nõuetelevastavate hügieenitingimustega (esinemissagedus 4,2 palli). Sundasendeid ja korduvliigutusi esineb väga sageli vastavalt 86% ja 81%. Kõige enam koormatud kehaosad on kaela ja õlapiirkond (esinemissagedus 4,3 palli), käed ja randmed (esinemissagedus 3,8 palli) ning selg (esinemissagedus 3,8 palli). Kõige vähem koormatud kehaosad on põlved (esinemissagedus 2,9) ja hüppeliigesed (esinemissagedus 1,9). Kõige enam kehalisi vaevusi esines seljas (esinemissagedus 4,2

palli), kaelas (3,3 palli) ja õlgades (3,2 palli). Kõige vähem kehalisi vaevusi esines küünarliigeses (esinemissagedus 2 palli), randmetes (2,5 palli) ja jalgades (2,6 palli). Kõige enam terviseprobleeme viimase 3 kuu jooksul on esinenud seljas (esinemissagedus 4,2 palli), kaela-õlapiirkonnas (4,1 palli) ja randmetes (3,2 palli). Nendele järgnesid väsimus ja peavalu (mõlemad 3 palli). Kõige vähem esines iiveldust (1,5 palli), surinat varvastes (1,5 palli) ning valusid hüppeliigestes (1,6 palli), tasakaaluhäireid (esinemissagedus 1,7 palli), surinat sõrmedes ja kätes (2,2 palli). Antud uuringus tuli välja, et kokkupuude nakkusohtlike materjalidega on olemas (esinemissagedus 3,7 palli) nagu oli leitud ka mitmetes teaduspõhistes uuringutes, mis on läbi viidud tänavapuhastumasinade juhtide seas [1,2].

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Smilee, J., Dhanyakumar, G., Vivian, S., Ajay, K.T., Bondade, S. 2013. Acute lung function response to dust in street sweepers. *Journal of clinical and diagnostic research*. Vol. 7(10), 2126-2129.
- [2] Dehdari, T., Farshad, A.A. 2013. Prediction of occupational behavior lead to prevention of infection in street sweepers based on health belief model constructs. *Tehran: Iran University of Medical Sciences and Health Services*, 88-94.
- [3] Riigi Teataja. Töövahendi kasutamise töötervishoiu ja tööohutuse nõuded. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/692896> [Accessed 04.04.2016]
- [4] Merisalu, E., Vähi, M., Männik, K., Põlluste. 2011. Relationships between work stress, burnout and health of health care workers. *Proceedings of the special sessions in the annual meeting of the Baltic Sea network on occupational health and safety 30 sept – 01 oct 2010. Occupational health of health care workers*. Ed by: Lehtinen, S., FIOH. Helsinki, pp 25-40.
- [5] Mykletun, R.J. *Working environment and health*. Stavanger, 1997.
- [6] Mürsepp, R. „Bussijuhtide töökeskkond, funktsionaalne seisund ja tugi-liikumisaparaadi vaevused,“ *Eesti Maaülikool, Tartu. Magistritöö*. 2015.
- [7] Riigi Teataja. Töö- ja puhkeaja seadus. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/1011041> [Accessed 04.04.2016]

Täppishaarde parameetrite mõõtmise metoodika

Methodology of Pinch-grip measurement

V. Luik, M. Reinvee

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja Ergonoomika osakond

Abstract. Before collecting data about pinch grip, it is necessary to have a corresponding methodology. The aim of this paper was to introduce a pinch grip methodology. In order to properly measure pinch grip force a test rig was constructed. The test rig allows to measure pull force, grip force and torque while manipulating random objects. In addition, the data acquisition allows simultaneous measurement of electromyographic activity and force or torque parameters.

Keywords: grip force, electromyography, pinch grip torque, pull force.

SISSEJUHATUS

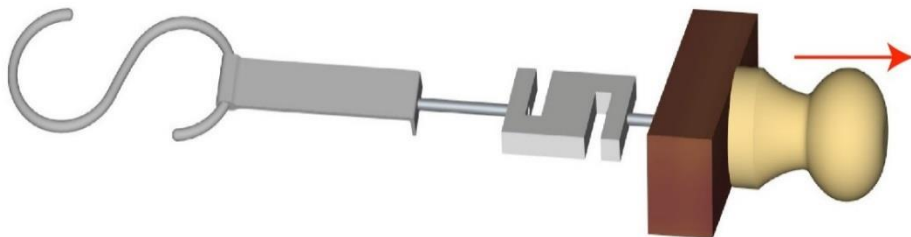
Objektide manipuleerimisel eristatakse jõu- ja täppishaaret, viimane tähistab olukorda kus objekt on haaratud pöidla ja sõrme(de) vahele [1]. Seejuures määrab haardejõu suuruse eelkõige pöidla tegevus [2]. Tööstuse arengule vaatamata, on käed ja sõrmed ikka veel esmased vahendid suure täpsusega tootmistöös, seejuures kasutatakse kinnitusvahendite ja elektroonikakomponentidega manipuleerimisel just täppishaaret. Täppishaaret kasutatakse suure täpsusega ülesannetel nagu juhtmete ühendamisel ja lahti ühendamisel, väikeste elektroonikaseadmete koostamisel ja juhtnuppude reguleerimisel. Täppishaare on jõuhaardest väikse lihasjõu potentsiaaliga [3], seetõttu võib ülemäärase jõu kasutamine põhjustada kätes väsimust, ebamugavustunnet ja vigastusi. Kuna töövahendi suurus võib mõjutada töötaja jõudlust ja ülekoormushaiguste nagu karpaalkanali sündroom, tendiniit ja ganglion tekkimist [4] on oluline omada infot täppishaarde jõuparameetrite kohta. Uurimistöö eesmärgiks oli koostada mõõtmisvahend ja –protseduur käe funktsioonide uurimiseks täppishaarde korral.

MÕÕTMISVAHEND

Kuna käe funktsioonide arv objekti haaramise viisist ei sõltu, peab mõõtevahend olema kasutatav pigistamise, tõmbamise ja pööramise uurimiseks. Kõige lihtsam pigistusjõu uurimise vahend on dünamomeeter. Täppishaarde uurimiseks sobib kasutada Vernieri elektroonilist käsidünamomeetrit, mida saab kasutada ka jõuhaarde uurimiseks. Dünamomeetri elektriline väljundi saab teisendada jõuühikutesse tehasekalibratsiooni [5] andmetes esitatud lineaarse regressiooni järgi. Kuna pigistusjõu väärtus sõltub pigistatava objekti suuruselt [6], peab eri suurusel objektide mõõtmiseks olema võimalik objekte lihtsalt mõõtevahendiga ühendada. Erineva suurusel objektide pigistamise jõu mõõtmiseks on käsidünamomeetri asemel

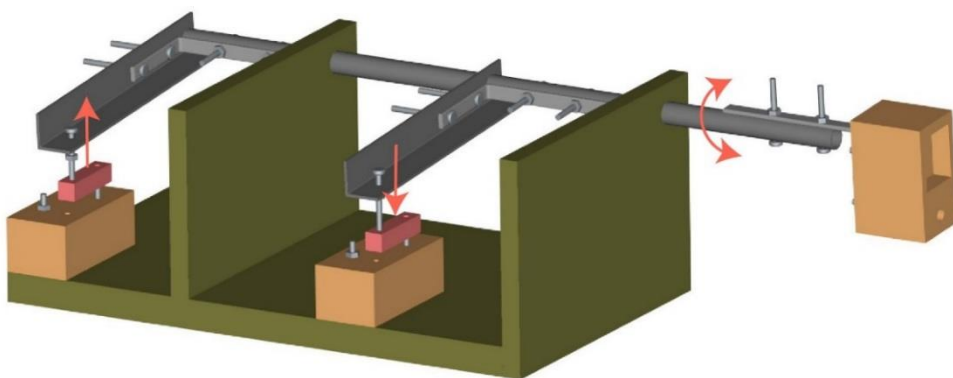
võimalik kasutada piesotakisteid [7], (Mõõtevahendi jaoks valiti TekScan FlexiForce A201).

Tõmbejõu mõõtmiseks kasutati S profiiliga tensoandurit Phidgets CZL301C. Tensoanduri kinnitamise lahend n näidatud joonisel 1. Anduri mõõtmispiirkond on kuni 100 kg, täpsus 0,02% ning väljund 3,0 mv/V. Küünarvarre sissepöörde (pronatsioon) ja väljapöördel (supinatsioon) tekkiva jõu momendi mõõtmine on lahendatud samuti tensoanduriga (joonis 2). Tensoandur Phidgets CZL635 mõõtmispiirkond on kuni 5 kg, täpsus 0,05% ning väljund 1,0 mv/V. Jõu moment saadakse mõõdetud jõu suuruse ja jõu õla (0,17 m) korrutisega.



Joonis 1. Tõmbejõu mõõtmiseks konstrueeritud seade.

Figure 1. Device for measuring pull force.



Joonis 2. Jõumomendi mõõtmiseks konstrueeritud seade.

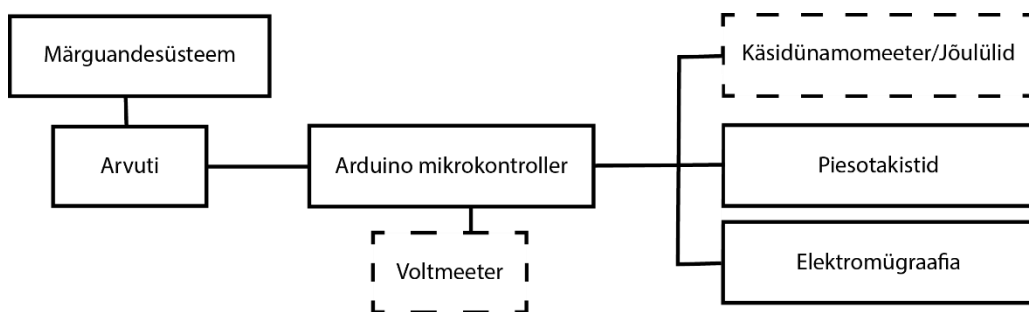
Figure 2. Device for measuring torque.

Jõulülile rakenduvat jõudu oli võimalik mõõta vaid ühes suunas, sellepärast kasutati kahte jõulüli, et ei oleks vajadus jõulüli ümber seada supinatsiooni ja pronatsiooni jaoks. Kahe jõulüli olemasolu vähendab mõõtmiste ajakulu.

Ng jt [6] leiavad, et täppishaarde funktsioonide paremaks mõistmiseks tuleb mõõta ka lihaste bioelektrilist aktiivust (emg-d). Reinvee jt [8] uurimistöö tulemuste põhjal võib selleks kasutada ka väikese maksumusega seadmeid. Bioelektrilise aktiivsuse mõõtmiseks valiti 2 kanaliga pinnaelektromüograafia moodul FlexVolt (võimendustegur 2336) ja Bitalino pinnaelektromüograafia üksikandur (võimendustegur 1000).

Mõõtmisvahendi elementide väljundite sünkroonsus tagatakse Arduino mikrokontrolleriga. Andmehõive sageduse määrab emg mõõtmistele esitatav nõue - logimissagedus 1000 Hz. Arduino Due (12 bit A/D muundur, mõõtevahemik

0...3,3 V) võimaldab sagedusega 1000 Hz mõõta kuue kanali signaali. Kuus kanalit jaotati järgmiselt: 3 kanalit emg, 2 kanalit piesotakistite ning 1 kanal dünamomeetri või jõulüli jaoks (joonis 3). Jõulülid ühendati mikrokontrolleriga instrumentaalvõimendi INA125P (võimendustegur 610) kaudu, piesotakistid pingejaguri kaudu. Kuue kanali piirangu tõttu on vajalik seadmete (käsidünamomeeter ja jõulülid ühendati mikrokontrolleriga vaid konkreetsete mõõtmiste ajal) vahetamine mõõtmistel.



Joonis 3. Katsestendi plokkskeem.

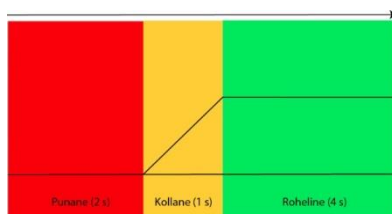
Figure 3. Block diagram of test rig.

Enne mõõtmisi on vajalik mõõteseadmete kalibreerimine. Kalibreerimine testib mõõteseadme näitude korratavust ja lineaarsust, mis on vajalik täpsete andmete saamiseks. Jõulülide ja piesotakistite kalibreerimiseks on sobiv kasutada kaaluvihte.

Andmete salvestamiseks kasutati programmi Coolterm. Coolterm võimaldab vahetada andmeid seadmetega, mis on ühendatud arvuti külge jadapordiga. Andmefaili formaat on txt.

MÕÕTMISPROTSEDUUR

Kindla tasemega pingutuse mõõtmiseks on otstarbekas kasutada Caldwelli režiimi [9]. Vaatlusalust instrueeritakse rakendama maksimaalset jõudu 5 sekundi jooksul. Esimesel sekundil tuleb suurenda jõudu sujuvalt maksimaalse tulemuseni ja järgmised 4 sekundit hoida saavutatud taset. Väsimuse mõju vähendamiseks tuleb soorituste vahele jätta paus kaks minutit. Eeltoodu tingimuste tagamiseks kuulub stendi juurde ka märguandesüsteem. Märguande süsteem imiteeris valgusfoori põhimõtet (joonis 4), punane (valmisolek), kollane (rakenda sujuvalt jõudu), roheline (hoida saavutatud jõu tase).



Joonis 4. Märguandesüsteemi värvused.

Figure 4. Output of feedback system

Lihase bioelektrilise aktiivsus mõõtmiseks olevaid kanaleid saab vabalt valitud lihtaste mõõtmiseks, leiame, et täppishaarde korral on otstarbekas mõõte pindmise

sõrmepainutaja lihase (*m. flexor digitorum superficialis*) sõrmesirutaja lihase (*m. extensor digitorum*) ja põidlapainutaja lihase (*m. flexor pollicis brevis*) bioelektrilist aktiivsust. Piesotakistid (2 tk) on kõige otstarbekam kinnitada nimetissõrme ja põidla pinnale nii, et need mõõtmiste käigus oleks kontaktis ka uuritava objektiga.

KOKKUVÕTE

Käe ja täppishaaret mõjutavate parameetrite mõõtmiseks konstrueeriti katsestend, mis koosnes erinevatest mõõteseadmetest. Katsestendil on neli funktsiooni – pigistus- ja tõmbejõu ning küünarvarre supineerimise ja proneerimise jõu momendi mõõtmine. Esialgsete mõõtmiste tulemuste põhjal võib väita, et katsestend täidab oma funktsiooni.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. R. Napier, "The prehensile movements of the human hand," J. bone Jt. Surg., vol. 38, no. 4, pp. 902–913, 1956.
- [2] Ng, P. K., Saptari, A. (2012). A review of shape and size considerations in pinch grips. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 2014, Vol. 15, No. 3, 305–317.
- [3] V. Mathiowetz, N. Kashman, G. Volland, K. Weber, and M. Dowe, "Grip and Pinch Strength : Normative Data for Adults," Arch. Phys. Med. Rehabil., vol. 66, no. 2, pp. 69–74, 1985.
- [4] Ng, P. K., Saptari, A., Jee, K. S. and Tan, Y. H. (2015). Torque Direction and Its Influence on Pinch Force. Proceedings of the International Postgraduate Conference on Aerospace, Manufacturing and Mechanical Engineering 2015, Langkawi, Malaysia, May 2015.
- [5] Hand dynamometer. (2016) Vernier. <http://www2.vernier.com/booklets/hd-bta.pdf> (03.04.2016)
- [6] Ng, P. K., Saptari, A., Jee, K. S. and Tan, Y. H. (2015). The Effects of Size on Pinch Force. - Proceedings of the International Postgraduate Conference on Aerospace, Manufacturing and Mechanical Engineering 2015, Langkawi, Malaysia, 12-13 May 2015.
- [7] M. Reinvee and K. Jansen, "Utilisation of tactile sensors in ergonomic assessment of hand – handle interface: a review," Agron. Res., vol. 12, no. 3, pp. 907–914, 2014.
- [8] Reinvee, M., Vaas, P., Ereline, J., & Pääsuke, M. (2015). Applicability of Affordable sEMG in Ergonomics Practice. Procedia Manufacturing, 3(AHFE), 4260–4265.
- [9] L. S. Caldwell, D. B. Chaffin, F. N. Dukes-Dobos, K. H. E. Kroemer, L. L. Laubach, S. H. Snook, and D. E. Wasserman, "A proposed standard procedure for static muscle strength testing," Am. Ind. Hyg. Assoc. J., vol. 35, no. 4, pp. 201–206, 1974.

Korduvate viskeliigutuste mõju hindamine ülajäseme funktsionaalsele seisundile sportlikul treeningul

The effect of repeatable throwing motion on the upperlimbs functional condition of sport training

E. Tamm¹, T. Meerits², E. Merisalu¹, M. Pääsuke²

¹ Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

² Tartu Ülikool, Meditsiiniteaduste valdkond, Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Abstract. The aim of this research was to evaluate the effect of throwing load from the upper limbs functional status and also give recommendations to minimize the risk of the injuries and optimize training loads. Throwing is the one of the most explosive jobs by overhead throwing athletes. Explosive motions are very injury-prone due to different forces by throwing distances. ART-method is known as *Assesment of repetitive tasks of upper limbs*. In our research this method is used by overhead to evaluate injury risks by repetitive throwing in athletes. Results showed that the injury risk level during 50 throws is average.

Keywords: Throwing load, funtional status, injuries, repetitve throwing motion, risk level

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on saadaval väga palju viskevahendeid. Nende levik on olnud kiire ja mitmekesine. Järjest enam on viskevahendid ümbritsetud paremate ja tugevamate materjalidega, mis soodustavad viskevahendi heitmist. Viskeliigutusega seonduv töö on väga kiire ja plahvatuslik lihaste tööd. Sportlaste treeningus pööratakse rohkem tähelepanu spordimetoodilisele poolele ja ala spetsiifilisele tehnika aspektidele kui vigastusriskide preventatsioonile. Uuring annab ülevaate 50 viske kui töökoormuse olemusest ning funktsionaalse seisundi muutusest võrreldes lihastoonust enne ja pärast viimast viskeseeriat. Analüüsides viskealaga tegelevaid sportlasi, siis viskamine on sportlase tööülesanne ehk treening.

Varasemalt ei ole uuritud viskekoormusega kaasnevaid mõjusid ja funktsionaalseid nihkeid viskeliigutust nõudvatel sportlastel kuna puudub korduvaid viskeliigutusi hindav metoodika. Sportlaste treeningus on oluline, et viskekoormus oleks küllaldane ja treeniva toimega ning saadud töökoormus ei muutuks ülekoormuseks ega pärsiks sportlaste töövõimet. Tulenevalt viskeliigutuste eripärast, esineb paljudel sportlastel oma sportlaskarjääri jooksul mitmeid vigastusi õla või käsivarre piirkonnas, millest taastumine võtab kaua aega. Spordivigastusi uurivatest epidemoloogilistest uuringutest on selgunud, et pesapallimängijatest on 25-32% ja 17-58% kogenud õla ja küünarliigese valulikkust [1,2]. Pesapallimängijatest 73% on vigastatuid ja opereerituid. Opereeritutel on täheldatud toimetuleku raskusi tavaelus. Eelkõige mõjutab visketehniline aspekt pingeid õlas ja küünarliigeses. Taastumine küünarliigese vigastusest võib võtta 12 kuni 18 kuud [3,4,5].

MATERJAL JA METOODIKA

Vaatlusalused. Uuringus osales 15 tervet meest, kelle keskmiseks vanuseks oli $25,07 \pm 8,26$ aastat ning viskamisega tegelenud keskmiselt $5,67 \pm 2,00$ aastat. Viskajaid ankeeteriti ankeetküsitlusega, mis jagunes kahte ossa. Esimeses osas uuriti viske- ning teine jõutreeningute kohta. Ankeetküsitluse tulemused ilmestasid uuritavate varasemaid kokkupuuteid viskamisega ning tuvastati uuringu tarvis tegelik ettevalmistustase treenintuse näol. Pärast uuringut täitsid osalejad tagasiside ankeedi, milles märgiti viskekoormusest põhjustatud ebamugavustunne või valulikkus. Järeldõju hinnati 4, 8, 12 ja 24 tunni möödumist uuringu lõppemisest. Hinnatati Borgi skaala põhiseelt ebameeldivustunnet või valulikkust, mis oli toimunud etteantud ajavahemiku jooksul.

Riskide hindamine ART meetodil ehk *Assesment of repetitive tasks of upper limbs*. Tegemist oli korduvate viskeliigutuste riskihindamisega, mis keskendus ülakeha piirkonnale. Meetod summeeris endas käeliigutuste intensiivsust ja sagedust, avaldatavat jõudu viskamisel, ebamugavusasendeid (pea/kael, selg, käsi, ranne, sõrmed), kaasatud on ka lisafaktorid (puhkepausid, töö tempo) seejärel korrutati viskamise kogukestus seeriates, mille tulemusena saadi riskihinne. Uuringus kasutati ART meetodile lisaks videograafia meetodit, et hinnata korduvate viskeliigutuste riskihindamist. Video ülesvõtted on filmiti tagant. Videoanalüüsil käsitletakse: käeliigutuste intensiivsust ja sagedust, avaldatavat jõudu viskamisel, ebamugavusasendeid (pea/kael, selg, käsi, ranne, sõrmed).

Tööraskusasteme hindamine. Pulsisageduse järgi hinnati tööraskusastmeid: kerge, keskmiselt raske, raske, väga raske [6]. Meetod annab ülevaate viskamisest kui töö intensiivsusest ja energeetilisest koormuse olemusest viskeprotsessi käigus. Tööraskusaste määrab töö intensiivsuse hulga, mida ilmestab südame ja veresoonkonna reaktsioon töö iseloomule.

Müotonomeetria. Lihaste mehaaniliste omaduste mõõtmist kasutati uuringus kaudse meetodina, mis andis informatsiooni töökoormuse mõjust nende seisundile. Mõõdeti seadmega Myoton-3. Enne ja pärast igat viskeseeriat registreeriti lihastoonus (Hz). Uuritavatel mõõdeti nelja lihast, (eesmine deltalihas (*m. deltoideus anterior*), ülemine trapetsilihas (*m. trapezius*), mediaalne kakspealihas (*m. biceps brachii medialis*) ja kolmpealihase pikk pea (*m. triceps brachii*). Uuritavad olid mõõtmise ajal lamavas asendis spetsiaalselt massaažiks kasutataval laual ning tal paluti lõdvestada mõõdetav lihas.

Dünamomeetria. Käesolevas uuringus mõõdeti 90° kraadise nurga all manuaalse lihasjõutestriga Lafyette õlavarre kakspealihase (*m. biceps brachii*) ja õlavarre kolmpealihase (*m. triceps brachii*) maksimaalset jõudu. Mõõtmised viidi läbi enne ja iga viskeseeria järel.

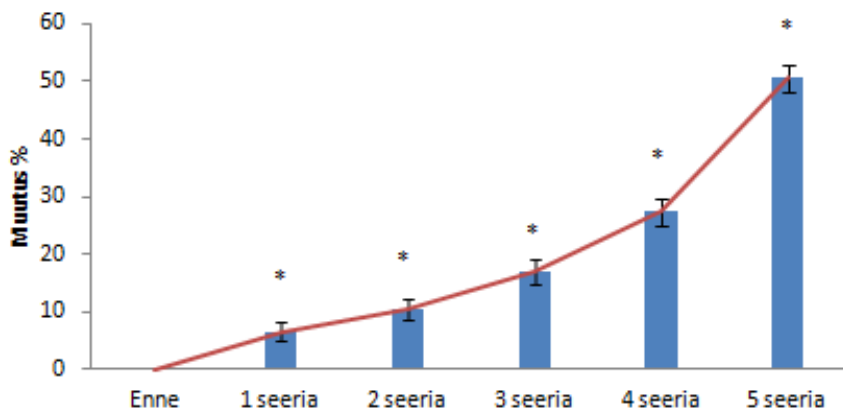
Subjektiivse väsimustunde hindamine. Uuritavatel registreeriti subjektiivse väsimustunne iga viskeseeria järgselt, mida uuritavad hindasid Borgi skaala alusel.

Statistika. Tulemuste analüüsimiseks kasutati andmetöötlusprogrammi MS Excel 2007. Arvutati aritmeetiline keskmine \pm SD (standardhälve). Tulemusi hinnati paaride T-testiga. Olulisuse nivoo oli $p < 0,05$.

TULEMUSED JA ARUTELU

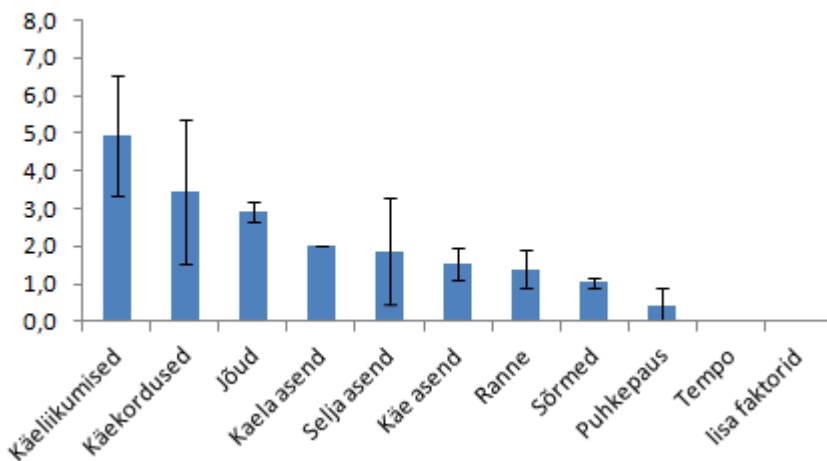
Visketreeninguid tehti keskmiselt $1,67 \pm 0,49$ korda nädalas. Visatavaks raskuseks oli keskmiselt $896,67 \pm 394,82$ grammi. Uuritavatest 60% teeb regulaarselt harjutusi õlavöötmele. Uuritavatest 73,3%-l on esinenud harva valu viskamisel. Uuritavad peavad oma visketreenitust 10 palli skaalal $4,27 \pm 1,75$ palliseks. Jõutreeningut tehakse $2,47 \pm 1,06$ korda nädalas. Keskmiseks seeriaks 5 seeriat $\pm 6,2$ kordust. Keskmiselt 28% $\pm 13,8\%$ tervest jõutreeningust keskendub õlavarrelihaste treenimisele. 73,3% uuritavatest treenib kerelihaseid igal treeningul. Ankeetküsitlusest selgus, et uuritavate ettevalmistustase uuringuks oli piisav.

Lihastoonuse parameetris täheldati kerget muutuse tendentsi, kus mediaalse kakspealihase toonus muutus 7,18% ja ülemise trapetslihas 5,3% kuid statistiliselt mitte oluline. Tulemus näitab viskamise üldist treeningtoimet, millest saab järeldada, et viskekoormus oli küllaldane (möödukas). Joonisel 1. on esitatud subjektiivse väsimustunde progresseerumine viskeseeriade vahel. Progresseerumist täheldati statistiliselt olulisuse nivooga $p < 0.001$. Uuritavatel tõusis subjektiivne väsimustunne viimase seeriaga võrreldes enne viskamist 50,55%. Sellist muutust iseloomustas plahvatusliku töö iseloom, millel on spetsiifiline toime füüsilistele ja vaimsetele protsessidele, millega kaasneb funktsionaalse seisundi muutus. Tööraskusaste jäi vaatlusel keskmiselt raske ja raske vahepeale andes informatsiooni töö energeetilisest koormusest ja intensiivsusest südame ja veresoontele.



Joonis 1. Subjektiivse väsimustunde protsentuaalne muutus seeriade vältel $*p < 0.001$
Figure 1. Percentage changes in the subjective sense of tiredness during the series $*p < 0.001$

Riskihinnangute arväärtused 15 viskaja vahel jagunesid vastavalt meetoodika hinde. Joonisel 2. on esitatud riskihinnangute arväärtused. Kõrgema skooriga hinnati käeliikumiste kordust ja sagedust. Lisandus rakendatav jõud, mis oli uuritavatele etteantud submaksimaalne ca 80% maksimumist. Järgnesid ebameeldivusasendite riskihindamine (kae, selg, ranne, sõrmed). Väiksema skooriga hinnati (puhkepausi, töötempo ning lisafaktorite loetelust, midagi mis viskajat konkreetselt häiris).



Joonis 2. Riskihinnangute arvvaartused.

Figure 2. The numerical values of risk assessments

Tulenevalt meetodikast korrutati summeritud arvvaartused kestuste kordajatega. Keskmiselt võttis uuritavatel 50 viske sooritamiseks seeriatena aega 116,9 sekundit ehk 1 minut ja 56,9 sekundit. Keskmiseks riskihindeks saadi $18,52 \pm 1,65$, mis tähendab keskmist riskitaset tulenevalt töökoormuse mõjust 50 viske tagajärel.

KOKKUVÕTE

1. Õlavarre kakspealihase mediaalse osa lihastoonus ning ülemise trapetslihase toonuses täheldati tõusu.
2. Uuritavatel jäi töörasekusaste keskmiselt raske ja raske töö vahele.
3. Subjektiiivne väsimustunne muutus progresseeruvalt viskeseeriade järgselt.
4. Korduvate viskeliigutuste riskitase oli keskmine

KIRJANDUS

- [1] Lyman S, Fleisig GS, Andrews JR, Osinski ED. Effect of pitch type, pitch count, and pitching mechanics on risk of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. Am J Sports Med 2002;30:463-8
- [2] Lyman S, Fleisig GS, Waterbor JW, Funkhouser EM, Pulley L, Andrews JR, et al. Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. Med Sci Sports Exerc 2001;33:1803-10
- [3] Petty DH, Andrews JR, Fleisig GS, Cain EL. Ulnar collateral ligament reconstruction in high school baseball players: clinical results and injury risk factors. Am J Sports Med 2004;32:1158-64
- [4] Gibson BW, Webner D, Huffman GR, Sennett BJ. Ulnar collateral ligament reconstruction in major league baseball pitchers. Am J Sports Med 2007;35:575-81.
- [5] Vitale MA, Ahmad CS. The outcome of elbow ulnar collateral ligament reconstruction in overhead athletes: a systematic review. Am J Sports Med 2008;36:1193-205.
- [6] Tuure, V, M. (1991). Maailman töiden fyysisen kuormittavuuden määrittäminen. Helsinki: Työtehaseura ry. 130 lk.

Tootmistööliste töökeskkond ja tervislik seisund toiduainetetööstusettevõtte näitel

Work environment and health status of workers in food processing industry

K. Muhel, B. Reppo, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

Abstract. Food processing industry workers are usually working in sustained or awkward postures and performing highly repetitive tasks. The work often also includes performing heavy physical work and not suitable temperature. All these factors may lead to strains and pain for some groups of muscles. The objective of this paper is to study health problems among the food processing industry workers. A questionnaire surveys were conducted among the food processing industry workers to evaluate the work environment risk factors and health problems. Results show that workers are not content in temperature of work environment and the body parts, where workers appeared to have more discomfort during their work, are shoulders, wrists, arms, upper and lower back. Health problems, which are occurring almost every day are fatigue (47,8% of the respondents) and fatigue of feet (47,6% of the respondents). The lower back pain occurred almost every week for 39,1% of the respondents. The correlation analysis showed that there was a correlation between pain in wrists and pain in the ankle. Strength in hands was in positive correlation with tingling in the fingers and hearing loss correlated with eye strain. Workers with higher BMI are more exposed to fatigue. In conclusion, work specific factors are related to health complaints of food processing workers and several health problems are in correlation between each other.

Key words: toiduainetetööstusettevõtte, tootmistöölised, töökeskkond, tervis

SISSEJUHATUS

Eesti toiduainetetööstus toodab kokku 16% töötleva tööstuse toodangust. Eesti eksport (35% toiduainetetööstuse toodangust) on küll aastatega kasvanud, kuid seda soovitakse veel tõsta [1]. Eesti majanduse koguproduktist (SKP) moodustub toiduainetetööstus umbes 2%. Hõivatutest töötab toiduainetetööstuses kokku umbes 4% [2]. Antud uuringus osalev toiduainetetööstusettevõtte tegeleb toiduainete konserveerimise ja tootmisega juba aastast 1946. Toodetakse nii moose, lõunatoite, suppe, kastmeid ja majoneese, kurke ja salateid ning ka jooke. Toiduainetetööstusettevõtte töötajad võivad sagedaste korduvliigutuste ja sundasendite tõttu tunda lihaspingeid ja väsimust tööpäeva lõpuks. Kui jätkata sama kõrgete nõudmistega füüsilise töö tegemist, vähendamata nende esinemise sagedust, võivad sageda lihaspinged kätes, küünarnukkides ja randmetes. Kaasneda võivad ka kroonilised liigeseprobleemid. Raskeid konteinereid teisaldades on kõrge risk alaseljavigastusteks. Tootmistööliste töös on palju staatilisi asendeid, näiteks pikalt seismist või istumist [3]. India toiduainetetööstusettevõtetes viidi läbi küsitlus, uurimaks sealsete töötajate tööviisi ja rahulolu töötamistingimustega. Selgus, et kümnes puuvilja töötlemise ettevõttes ja kümnes teeletede istanduses hindasid töötajad töötamispositsiooni väga ebamugavaks. Kehapiirkonnad, kus kõige enam

vaevusi esines, olid õlad, randmed, õla- ja käsivarred ning ala- ning ülaselg [4]. Töökeskkonna õhutemperatuuri muutus mõjutab oluliselt tootlikkust. Liiga madal õhutemperatuur mõjutab töötajat rohkem kui liiga kõrge õhutemperatuur. Madal temperatuur tööstustes, kus tööoperatsioonide teostamiseks tuleb kasutada käte ja sõrmede kindlaid liigutusi, tingib külm sõrmede tundetust ja liigesjäikust. Kuumas keskkonnas töötades ei vähene sõrmede ja käte liikuvusulatus, samuti ei muutu sõrmede tundlikkus [5].

MATERJAL JA METOODIKA

Uuritavateks olid toiduainetetööstusettevõtte tootmistöölised, keda kokku ettevõttes oli 57. Perioodil 19.11.2015 viidi antud ettevõttes läbi töökeskkonna riskianalüüsi raames töötajate küsitlus. Riskianalüüsi küsimused puudutasid töötajate rahulolu töökeskkonna ja sisekliimaga Küsimusele, kas olete rahul õhutemperatuuri ja töökoha valgustatusega, sai vastata kas jah, ei või avatud vastuses anda täiendavaid kommentaare. Õhukvaliteeti hinnati selle järgi, kas tegur häirib pidevalt, mõnikord või vähe. Töötaja sai hinnata korraga mitut õhukvaliteeti puudutavat tegurit. Uuritavale grupile, mis koosnes 23-st vabatahtlikust, esitati lisaküsimustik koos küsimustega töökoha ergonoomika ja terviseprobleemide kohta. Küsimustik koosnes kolmest osast: üldosast, subjektiivsest hinnangust raskuste käsitsi teisaldamise, korduvliigutuste ja sundasendite esinemise kohta ja küsimustest kõige enam koormatud kehapiirkondade ning terviseprobleemide kohta. Töötajad hindasid töökoha ergonoomikat puudutavaid tegureid 3-palli skaalal, kus 1 – ei esine, 2 – mõnikord, 3 – sageli. Erinevaid terviseprobleeme hindasid töötajad 4-palli skaalal, kus 1 – ei esine, 2 – kord kuus või harvem, 3 – peaaegu iga nädal, 4 – peaaegu iga päev. Töötajatel oli võimalik valida valikvastuste seast mitu koormatud kehapiirkonda. Kui tegemist oli avatud vastusega, võis töötaja ka oma kirjutada täiendavaid märkusi ning need vastused läksid „muu“ alla. Küsitlus oli anonüümne ja vabatahtlik. Küsimustikud ja vastused kodeeriti. Nii riskianalüüsi küsimustik kui ka uuritavale grupile esitatud küsimustik põhineb TÜ tervishoiu instituudi Keskkonna- ja töötervishoiu õppetooli poolt koostatud töökeskkonna riskianalüüsi ankeetküsimusele [6]. Küsimusi kohandati vastavalt toiduainetetööstuse riskide eripärale ja uurimuse eesmärgile.

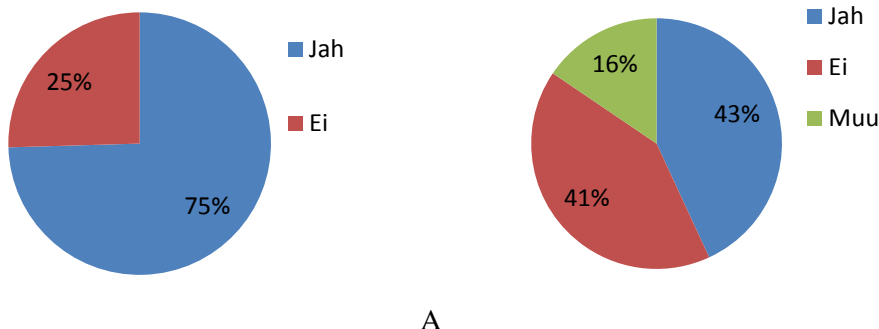
Riskianalüüsi küsitluse tulemusi analüüsiti statistikaprogrammiga *MS Excel*. Uuritava grupi küsitluse tulemusi analüüsiti andmetöötlusprogrammiga *SPSS.23.0 (Statistical Package of Social Sciences)*. Tulemused esitati üldsagedustabelites, keskmiste (\pm SD) ja gruppide võrdlusena. Erinevusi gruppide vahel analüüsiti *Hii-ruut* testiga, keskmiste võrdluseks kasutati dispersioonanalüüsi *ANOVA*, seoste analüüsimisel kasutati *Spearmani* korrelatsioonanalüüsi. Uuringu eesmärgiks oli välja selgitada toiduainetetööstusettevõttes tööga seotud ohutegurid ja analüüsida tootmistöölistel esinevaid terviseprobleeme.

TULEMUSED JA ARUTELU

Ettevõtte riskianalüüsi käigus viidi läbi küsitlus kõikide tootmistöötajate hulgas. Riskianalüüsi küsimustikule vastas 55 tootmistöötajat, töökoha riske hindasid 49 naist ja 6 meest. Lisaks jagati küsimustikke täiendavate küsimustega töökoha

ergonoomika ja terviseprobleemide kohta vabatahtlikkuse alusel töötajatele kätte kokku 37 eksemplari ning tagasi saadi täidetud kujul neist 23.

Riskianalüüsi küsimustikule vastajad jagunesid tööstaaži alusel järgmiselt: alla 1 aasta – 4% (2); 1-10 aastat – 38% (21); 11-20 aastat 27% (15); 21-30 aastat 24% (13); rohkem kui 31 aastat 7% (4). Riskianalüüsi küsimustikust selgus, et töökoha valgustatusega olid rahul enamik ning töökeskkonna õhutemperatuuriga ei olnud rahul alla poolte töötajaist, hinnates seda talvel külmaks ja suvel palavaks töötajaid (joonis 1).



Joonis 1. Tootmistööliste rahulolu A - töökoha valgustatuse ja B - tööruumide õhutemperatuuriga (% , vastajate osakaal).

Häirivaid tegureid töökeskkonna õhukvaliteedis hindas töötajatest 78% ehk 55-st 43 vastajat. Õhukvaliteediga on rahul 32 vastajat, 18 ei ole rahul. Häirivateks omadusteks õhukvaliteedis peeti erinevaid tegureid ning tulemused on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Töötajate hinnangud häirivatele teguritele õhu kvaliteedis (% , vastajate osakaal)

	Häirib pidevalt	Häirib mõnikord	Häirib vähe
Umbne	12 (5)	53 (23)	14 (6)
Liiga niiske	5 (2)	26 (11)	21 (9)
Kuiv õhk	5 (2)	-	44 (19)
Halvad lõhnad	2 (1)	44 (19)	21 (9)
Tolmune	7 (3)	16 (7)	30 (13)

45-st küsitlusele vastanud töötajast hindab, et häirivad tegurid esinevad õhukvaliteedis eelkõige suvel 47% (21), talvel 16% (7), kevadel 2% (1) ja aastaringelt 36% (16).

Tervist puudutavas ankeetküsitluses osales vabatahtlikkuse alusel 23 töölisi (22 naist ja 1 mees). Uuritava grupi keskmine vanus oli 42,3 ($\pm 11,30$) aastat, keskmine kehamassiindeks (KMI) 28,1 ($\pm 5,15$), keskmine staaž 12,02 ($\pm 10,76$) aastat ja töökoormus 7,95 ($\pm 0,21$) tundi päevas.

Uuritavate hinnangust selgub, et raskuste käsitsi teisaldamist tuleb ette sageli enamikul töötajatest (65,2%). Kõige enam koormatud kehapiirkondadeks peetakse samavõrd jalgu ja käsi (69,6%), kaela-õlapiirkonda (60,9%) ja alaselga (52,2%). Uuritavatest 47,8% mainis üldist väsimust ja 47,6% jalgade väsimust peaaegu iga päev

esinevateks terviseprobleemideks ning 39,1% alaseljavalusid peaaegu iga nädal esinevateks vaevusteks. Gruppide võrdlus näitas, et suurema kehamassiindeksiga töötajatel esines oluliselt suurem väsimus ($p=0,045$). Tööstaaži ja jalgade väsimuse esinemise vahel on samuti oluline seos ($p=0,046$).

Keskliste parameetrite võrdlusel selgus, et ülekaalulistel töötajatel ($KMI > 25 \text{ kg/m}^2$) esines sagedamini käte jõudluse langust, võrreldes normkaalus töötajatega ($p=0,024$). Staažikamatel töötajatel esines rohkem valusid küünarvarre- ($p=0,018$) ja puusapiirkonnas ($p=0,014$).

Spearmani korrelatsioonanalüüs näitas seoseid staaži suurenemise ja raskuste käsitsi teisaldamise vahel ($r=0,649$, $p=0,001$). Ka vanuse suurenedes tõusis koormuste hulk kätele ($r=0,550$, $p=0,007$). Kui töötajal on selg enam koormatud, siis on suurenenud ka koormus kaela-õlapiirkonnale ($p=0,020$, $r=0,481$). Valud randmes sagenevad koos valudega hüppeliigestes ($r=0,001$, $r=0,666$). Kätes jõudluse langus on seotud surinaga sõrmedes ($p=0,003$, $r=0,629$). Kuulmislanguse esinemisel raporteeriti tihedamini silmade ärritust ($p=0,008$, $r=0,559$) ja jalgade väsimust ($p=0,008$, $r=0,564$).

JÄRELDUSED

Riskianalüüsi küsimustikust selgus, et suurem osa töötajatest on rahul tööruumide valgustatuse ja õhukvaliteediga tööruumides. Probleemiks peetakse tööruumides aastaegade seonduvalt häirivat õhutemperatuuri, kus talvel on ruumides liiga külm ja suvel liiga palav.

Toiduainetetööstusettevõtte töolistel on valdavas osas füüsiline töö, mistõttu on koormatud eelkõige käed, jalad, kaela-õlapiirkond ja alaselg. Leiti seoseid individuaalsete ja tööst tulenevate tegurite ning terviseprobleemide vahel. Vanuse ja staaži suurenedes teiseks suureneb rohkem raskusi ja tõusis koormus kätele. Pikema tööstaažiga töötajatel esines enam küünarvarre- ja puusavalusid. Koormuse suurenedes alaseljale suureneb koormus ka kaela-õlapiirkonnale. Sageli esineb mitu terviseprobleemi korraga. Randmevalud on seotud valuga hüppeliigestes ning surin sõrmedes oli seotud käte jõudluse langusega. Tulemused näitavad, et toiduainetetööstusettevõtte tootmistöölised teevad palju füüsiliselt rasket tööd, mistõttu on mitmed kehapiirkonnad ülekoormatud ning esinevad ka luulihaskonna vaevused.

Edaspidi tuleb teha rohkem uuringuid toiduainetetööstusettevõtte töötajate hulgas, selgitamaks välja tööst tulenevaid terviseriske. Töötajate hulgas tuleks läbi viia koolitust töövõtete parendamiseks. Küsitlust oleks vaja kindlasti korrata, siis saab tulemustest näha, kas efektiivsete ja õigete töövõtete omandamine aitab kaasa terviseprobleemide esinemissageduse vähenemisele või mitte.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Puusild, H. (2015). Poliitilised sündmused on Eesti toidutööstusele palju probleeme tekitanud. – Tööstusuudised.ee. [WWW]
<http://www.toostusuudised.ee/uudised/2015/11/03/poliitilised-sundmused-on-estti-toidutoostusele-palju-probleeme-tekitanud> (30.03.2016).
- [2] Alvela, A. (2011). Valdkonna ülevaade: Toidutööstus kasvab koos muu majandusega. – Tööstusuudised.ee. [WWW]

- <http://www.toostusuudised.ee/uudised/2011/08/31/valdkonna-ulevaade-toidutoostus-kasvab-koos-muu-majandusega> (30.03.2016).
- [3] Ergonomics in Action: A Guide to Best Practices for the Food-Processing Industry. (2003). California Department of Industrial Relations. [WWW]
http://www.dir.ca.gov/dosh/dosh_publications/erg_food_processing.pdf (11.03.2016).
- [4] Bhattacharyya, N., Chakrabarti, D. (2012). Design development scopes towards occupational wellness of women workers: Specific reference to local agro based food processing industries in NE India. - IOS Press. Vol. 43, pp. 403-409.
- [5] Ye, X., Chen, H., Lian, Z. (2010). Thermal Environment and Productivity in the Factory. – ASHRAE Transactions. Vol 116, pp 590-599.
- [6] Töökeskkonna riskianalüüsi ankeetküsimustik. (2006) TÜ tervishoiu instituut, Keskkonna- ja töötervishoiu õppetool. Tartu, 16 lk.

Piimatööstusettevõtte töötaja töö raskusaste ja energeetiline koormatus

Level of difficulty and energetic load of dairy employee's work

N. Šott, B. Reppo

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

Abstract. For economic reasons shift work, which includes night shifts, is nowadays still in use in industries, although it has been proven that this kind of job management may cause health problems. That is why it is important to assess the employee's work level of difficulty and energetic workload both in day and evening (night) shifts in order to recommend solutions for better work organizing. The aim of the study is to assess the level of difficulty and energetic load of dairy employee's work. Based on the aim of the study, following tasks were set: to measure workers heart rate during day and evening (night) shifts and based on the results to assess the level of difficulty and energetic load of dairy employee's work and to recommend possible solutions for better work organization. Eight female dairy worker's heart rate was measured with „Polar-tester“ method. Subjects were chosen from four departments – cheese-makers, cheese-producers, employees who wrap cheese in plastic and packers. From each department there were two participants. Average heart rate was a bit higher during evening (night) shifts than during day shifts among half of the subjects. Working during night shift was heavier (moderate) than in day shift (light) for two workers (cheese-maker and cheese-producer). For one packer, the level of difficulty was moderate in both shifts. Results showed that bigger attention should be on these three departments employees energetic workload.

Key Words: shift work, cheese production, heart rate tester, heart rate, level of difficulty of work, energetic workload.

SISSEJUHATUS

Tänapäeval töötab Euroopas üks viiest töötajast vahetustega, mis hõlmab öötööd ning üks kahekümnest töötab nädalas rohkem kui 48 tundi [1]. Leitud on tõendeid, et vahetustega töö ja öötöö, mida tihti rakendatakse majanduslikel kaalutlustel, tõstmaks produktiivsust ning vähendamaks tootmiskulusid, võivad teisest küljest kaasa tuua oluliselt kahju inimesele [2]. On selge, et töökoht võib olla töötajale stressiallikaks ning vahetustega töötajad, nagu ka päevatöötajad, on tööstressi tekke ohus, küsimus aga seisneb selles, kas vahetustega töötajatel on stress põhjustatud töögraafikust ning kas nad puutuvad sellega enam kokku [3]. Soomes 1806 tööstusettevõtte töötaja seas läbi viidud uuringu tulemustest selgus, et vahetustega töötajatel on 30 – 50% suurem tõenäosus haigestuda südame isheemiatõvesse, võrreldes päevatöötajatega [4]. Kuna südamelöökide sagedus on üheks füüsilise aktiivsuse näitajaks, võrreldi erinevat tüüpi tööd tegevaid töötajaid, et selgitada, kas südame-veresoonkonnahaigusi ja vahetustega tööd käsitlevas uuringus tuleb arvestada ka tehtava töö iseloomu. Tulemustest selgus, et sama graafiku järgi tehtavate erineva füüsilise raskusastmega tööde vahel ei esine südamelöökide sageduste vahel olulist erinevust [5]. Vanurite hooldekodus läbi viidud uurimuse käigus võrreldi üheksat naistöötajat, kes töötasid päevases, öistes või vaheldumisi mõlemis vahetuses ning tulemused näitasid, et suurimad südamelöökide sagedused ei erinenud vahetuste vahel, kuid keskmised ja väikseimad väärtused olid päevases vahetuses oluliselt kõrgemad ($p=0,020$, $p=0,001$). Samuti selgus tulemustest, et öise vahetuse töötajate energiakulu oli oluliselt suurem kui päevases vahetuses ($p=0,001$), ent töö intensiivsus kahe vahetuse vahel ei erinenud [6].

Üks olulisemaid probleeme seotud vahetustega tööga on inimese ööpäeva rütmi häirumine, mille tõttu häiruvad nii töötamise, söömise kui ka magamise faasid ning võib kaasa tuua ebaefektiivsuse ja kurnatuse [1]. Ka õnnetuste tekkimise risk on öhtuses vahetuses suurem kui päevases – öhtuses 15% ning öises 28%. Sõltuvalt vahetuse pikkusest suureneb risk, kui kaheksatunnise vahetusega võrreldes tõuseb kümnetunnises vahetuses risk 10% ning 12h vahetuses 28% [7]. Eelmainitust lähtuvalt on oluline hinnata töötajate töö raskusaste ja energeetiline koormatus ja seda nii päevases kui ka öhtuses vahetuses, et selgitada välja, kas ja kuidas mõjutab töötajaid nii raske füüsiline töö ning kas öine töö on töötajale koormavam kui päevane töö. Käesoleva uuringu eesmärgiks oli määrata piimatööstuse töötajate töö raskusaste ja energeetiline koormatus nii päevases kui ka öhtuses (öises) vahetuses. Eesmärgist lähtuvalt olid seatud järgmised ülesanded: a) mõõta töötajate südamelöökide sagedused töötades nii päevases kui ka öhtuses (öises) vahetuses; b) saadud tulemuste alusel määrata töötajate töö raskusaste ja energeetiline koormatus ning teha järeldusi ja anda soovitusi töö paremaks korraldamiseks.

MATERJAL JA METOODIKA

Käesolev uurimus viidi läbi juustu tootmisele spetsialiseerunud piimatööstuses. Ettevõtte tootmisosas on 112 töötajat, jagunedes nelja põhilisse osakonda – juustumeistrid, juustuvalmistajad, kiletajad ja pakijad. Juustumeistrid teevad alguse tootmisprotsessile, nende ülesandeks on juustumassi valmistamine ning tööülesanded nõuavad seadmete jälgimist ja reguleerimist, mille tõttu liigutakse palju ja töötatakse seistes. Juustuvalmistajad reguleerivad juustupresside tööd, lasevad juustumassi pressidesse ning tõstavad valmis juustuplokid (15-18 kg) ja –silindrid (2,3 kg) pressist alustele, mis viiakse hiljem käsikahveltõstukite abil soolveevannidesse. Kiletusosakonnas kiletatakse soolveevannidest tulnud juustud. Silinderjuustud tõstetakse aluselt lauale, seejärel pannakse kilest kotti ja asetatakse kiletusseadmetesse ning tõstetakse kasti. Juustuplokid tõstetakse aluselt kiletusliinile ja hiljem kiletatuna liinilt kasti. Pakkeosakonnas võetakse juustud kilest lahti, vajadusel plokid tükeldatakse, ning transporditakse edasi viiele erinevale liinile, kus toimub sõltuvalt tootest kas juustude viilutamine, tükeldamine või riivimine. Pakitud juustudel kontrollitakse markeeringut, laotakse vastavatesse kastidesse, mis on eelnevalt pakijate poolt kas paika sätitud või kokku volditud.

Uurimusse kaasati igast osakonnast kaks naistöötajat, kes avaldasid osalemiseks soovi varasemalt läbi viidud ankeetküsitluse lõpus. Uuritaval määrati energieetiline koormatus „Polar“ tester meetodil, töötades nii päevas kui ka öhtuses/öises vahetuses. Mõõtmisteks kasutati Polar S610i ning Suunto t6 pulssitestereid, mille pulssivööd pandi enne töövahetuse algust töötajatele ümber rindkere võimalikult südame lähedale ning pulsikellad pandi võimalusel randmele, taskusse või kinnitati pükste aasa külge, vältimaks kella veega kokkupuutumist. Töötajad kandsid pulssitestereid kogu töövahetuse vältel. Andmeanalüüsi käigus määrati töövahetuse vältel mõõdetud suurima ja keskmise südamelööki sageduse alusel töö raskusaste (tabel 1) [8, 9, 10].

Tabel 1. Töö raskusastme liigitus südamelööki sageduse (l/min) järgi. Allikas: [8, 9, 10]

Table 1. Classification of work difficulty based on heart rate (bpm). Source: [8, 9, 10]

Töö raskusaste	Pulss, lööki min
Kerge	< 100
Keskmiselt raske	100...125
Raske	125...150
Väga raske	> 150

Summaarne energieetiline koormatus määrati tabeli 2 [8, 9, 10] järgi, arvestades töötaja sugu, vanust ja töö raskusastet, või tabeli andmete alusel interpoleeritud kõverate järgi (joonis 1).

Tabel 2. Töö raskusastme liigitus naistel keskmise energiakulu (W) järgi sõltuvalt vanusest. Allikas: [8, 10]

Table 2. Classification of work difficulty based on average energy consumption among women in different age groups. Source: [8, 10]

Vanus aasta	Keskmise energiakulu, W				W _{max} W
	kerge	kesk.raske	raske	eriti raske	
20...29	...223	230...356	363...488	488...	651
30...39	...202	209...293	300...454	454...	605
40...49	...188	195...279	286...419	419...	559
50...59	...154	160...265	272...384	384...	521
60...69	...133	140...244	251...349	349...	465

Töötaja otseselt tööks kuluv energia määrati valemiga [11]:

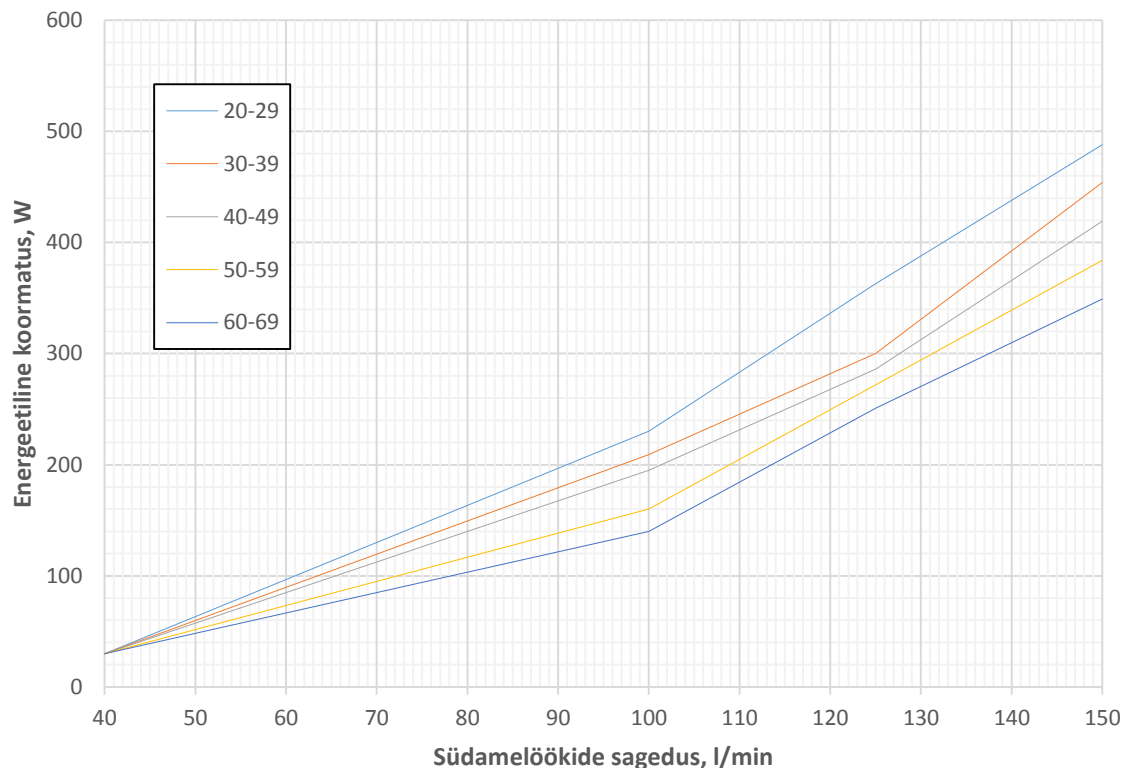
$$T=S-F \quad (1)$$

kus T – otseselt tööks kuluv energia W;
S – summaarne energiakulu W;
F – füsioloogia tarbeks vajatav energia W.

Füsioloogia tarbeks vajatav energia (F) on naistel arvutatav valemiga [11]:

$$F=1,934+0,0278 \cdot G+0,00538 \cdot H-0,0136 \cdot V \text{ kJ /min}, \quad (2)$$

kus G – inimese kehamass kg;
H – inimese pikkus cm;
V – vanus a
1 kJ/min = 16,66 W.



Joonis 1. Südamelöökide sageduse (l/min) ja summaarse energiakulu (W) vaheline seos naistel erinevates vanusegruppides. Allikas: [9]

Figure 1. Relation between heart rate (bpm) and total energetic load (W) among women in different age groups. Source: [9]

Andmete töötlemiseks kasu tati arvutiprogrammi *Microsoft Office Excel 2013*. Mõõtmistulemuste statistiliseks analüüsiks kasutati aritmeetilise keskmise ja standardhälbe arvutamist ning *t-testi*. Statistiliselt oluliseks tulemuseks loeti $p < 0,05$.

TULEMUSED JA ARUTELU

Piimatööstusettevõttes läbi viidud uuringus osales kaheksa naistöötajat neljast tootmisosakonnast (juustumeistrid, juustuvalmistajad, kiletajad ja pakkijad), igast osakonnast kaks töötajat. Uuritavate keskmine vanus oli 49,6 aastat ($SD \pm 7,5$).

Kõikidel uuritavatel mõõdeti südamelöökide sagedus nii päevases kui ka öhtuses (öises) vahetuses. Pooltel uuritavatel ($n=4$) oli keskmine südamelöökide sagedus öhtuses (öises) vahetuses suurem kui päevases vahetuses, kuid tulemus ei oma statistiliselt olulist väärtust ($p=0,21$). Kahel uuritaval, juustumeistril ja juustuvalmistajal, oli öises vahetuses mõõdetud keskmise pulsisageduse järgi töö raskusastmelt kõrgem kui päevane, olles päevases vahetuses kerge ja öises vahetuses keskmiselt raske. Võrreldes töötajate keskmisi südamelöökide sagedusi, ei leitud statistiliselt olulist tulemust ($p=0,36$), et öine (öhtune) vahetus oleks töötajatele energeetiliselt koormavam kui päevane vahetus. Südamelöökide suurimate sageduste alusel oli kõikides osakondades tegemist raske või väga raske tööga, ainult ühel töötajal (juustuvalmistajal) oli ka suurima südamelöökide sageduse järgi päevases vahetuses tegemist keskmiselt raske tööga. Tabelis 3 on toodud kõikide uuritavate väikseimad, suurimad ja keskmised südamelöökide sageduse väärtused (l/min) ning energeetilised koormatused (W) kesmise ja suurima südamelöökide sageduste järgi.

Tabel 3. Piimatööstusettevõtte töötajate energieetiline koormatus ja töö raskusaste**Table 3.** Level of difficulty and energetic load of dairy employee's work

Osakond		Juustumeistrid		Juustuvalmistajad		Kiletajad		Pakkijad	
Uuritavate andmed	sugu	N	N	N	N	N	N	N	N
	vanus, a	43	51	53	51	53	55	34	57
	pikkus, cm	176	170	160	166	166	164	164	154
	mass, kg	80	75	80	83	70	89	62	72
Südamelöökide sagedus, lööki min:									
Väikseim	P	55	54	49	73	56	60	50	52
	Ö	63	68	52	74	64	64	40	76
Suurim	P	237	161	147	123	134	132	168	180
	Ö	150	238	157	132	133	133	141	136
Keskmine	P	94	91	99	97	90	84	85	103
	Ö	97	100	98	100	90	90	81	103
Energeetiline koormatus, W:									
Keskmise südamelöökide sageduse järgi:									
Summaarne, W	P	180	140	160	156	138	115	170	170
	Ö	187	160	155	162	138	138	154	170
Füsioloogiline, W	P	75	71	72	74	68	76	68	67
	Ö	75	71	72	74	68	76	68	67
Otseselt tööga, W	P	105	69	88	82	70	39	102	103
	Ö	112	89	83	88	70	62	86	103
Suurima südamelöökide sageduse järgi:									
Summaarne, W	P	900	430	372	262	312	305	565	520
	Ö	420	775	415	304	308	308	397	320
Füsioloogiline, W	P	75	71	72	74	68	76	68	67
	Ö	75	71	72	74	68	76	68	67
Otseselt tööga, W	P	825	359	300	188	244	229	497	453
	Ö	345	704	343	230	240	232	329	253
Töö raskusaste keskmise südamelöökide sageduse järgi	P	K	K	K	K	K	K	K	KR
	Ö	K	KR	K	KR	K	K	K	KR
Töö raskusaste suurima südamelöökide sageduse järgi	P	VR	VR	R	KR	R	R	VR	VR
	Ö	R	VR	VR	R	R	R	R	R

Märkused: N – naine; P – päevane vahetus; Ö – öine (öhtune) vahetus; K – kerge; KR – keskmiselt raske; R – raske; VR – väga raske.

Töötajate energieetiline koormatus oli kõige väiksem kiletusosakonnas, kus keskmine summaarne energiakulu nii keskmise kui ka suurima südamelöökide sageduse alusel väikseim (vastavalt $\bar{x} = 132,3W$ ja $\bar{x} = 308,3W$). Suurim energieetiline koormatus oli juustumeistritel, kelle keskmine summaarne energiakulu on suurim nii keskmise kui ka suurima südamelöökide sageduse alusel (vastavalt $\bar{x} = 166,8W$ ja $\bar{x} = 631,3W$). Keskmise südamelöökide sageduse alusel oli otseselt tööga seotud energiakulu suurim pakkijatel ($\bar{x} = 98,5W$), neile järgnesid juustumeistrid ($\bar{x} = 93,8W$), juustuvalmistajad ($\bar{x} = 85,3W$) ja kiletajad ($\bar{x} = 60,3W$).

Tulemustest selgub, et töötajate töö raskusaste ega energieetiline koormatus ei sõltu sellest, millises vahetuses töötaja töötab. Suurima energieetilise koormatusega töötajad on juustumeistrid, mis võib olla põhjustatud nende töö korraldusest – juustumeistrite töö nõuab pidevat liikumist ning seadmete jälgimist, mille tõttu ei pea juustumeistrid nii tihti ja regulaarselt puhkepause. Teistes osakondades peetakse puhkepause tihedamini ning pikaajalisemalt, samuti kasutatakse tööülesannete rotatsiooni. Juustumeistrite töö raskusastme puhul võib mõju avaldada ka nende pikk töövahetus – päevane vahetus juustumeistritel kestab kuni 13 tundi, öine kuni 11 tundi.

JÄRELDUSED

Lähtuvalt uurimistulemustest võib järeldada, et piimatööstusettevõtte töötajate töö on vahetuste vältel mõõdetud keskmise südamelööki sageduse alusel enamasti kerge või keskmiselt raske, ent vaheldub raske ja väga raske tööga. Uurimistulemustest ei saa järeldada, et öised vahetused oleksid töötajatele koormavamad kui päevased vahetused. Suurima energieetilise koormatusega töötajad on juustumeistrid (keskmiselt 166,8W) ja väikseima energieetilise koormatusega töötajad on kiletajad (keskmiselt 132,3W). Vähendamaks töötajate töökoormust, eriti juustumeistrite puhul, tuleb kaaluda töö- ja puhkeaja reeglite täpset paika panemist ning töötundide korrigeerimist, kuna juustumeistrite töövahetused on väga pikad.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. M. Harrington, „Health effects of shift work and extended hours work,” *Occup Environ Med.*, vol. 58, no. 1, pp. 68-72, Jan. 2001.
- [2] G. Costa, „The impact of night shift on health,” *Appl Ergon.*, vol. 27, no. 1, pp. 9-16, Feb. 1996.
- [3] A. Knutsson, H. Bøggild, „Shiftwork and Cardiovascular Disease: Review of Disease Mechanisms,” *Rev Environ Health.*, vol. 15, no. 4, pp. 359-372, Oct-Dec. 2000.
- [4] L. Tenkanen, T. Sjöblom, R. Kalimo, T. Alikoski, M. Härmä, „Shift work, occupation and coronary heart disease over 6 years of follow-up in the Helsinki Heart Study,” *Scand J Work Environ Health*, vol. 23, no. 4, pp. 257-265, Aug. 1997.
- [5] M. Inoue, T. Fujimura, H. Morita, J. Inagaki, H. Kan, N. Harada, „A Comparison of Heart Rate During Rest and Work in Shift Workers with Different Work Styles,” *Ind Health.*, vol. 41, no. 4, pp. 343-347, Oct. 2003.
- [6] T. Wakui, S. Shirono, S. Takahashi, T. Fujimura, N. Harada, „Physical Activity, Energy Expenditure and Work Intensity of Care-Workers on Shift Work in a Special Nursing Home for the Elderly,” *J Occup Health*, vol. 44, pp. 8-14, Sep. 2001.
- [7] C. C. Caruso, „Shift Work and Long Work Hours,” *Occupational Ergonomics. Theory and Applications*. A. Bhattacharya, J. D. McGlothlin, Eds., Vol 2. Boca Raton: CRC Press. 2012, pp. 457-470.
- [8] O. Sada, B. Reppo, „Tööajakulu ja töö raskusaste sigadega talitamisest” *Journal of Agricultural Science*, vol. 17, no. 1, pp. 68-72, 2006.
- [9] K. L. Andersen, R. Masironi, J. Rutenfranz, V. Seliger, *Habitual physical activity and health*. WHO Regional Publications European Series No. 6., 1978.
- [10] V.-M. Tuure, *Maatilan töiden fyysinen kuormittavuuden määrittäminen*. Työtehoseuran julkaisuja 332, Helsinki, 1991.
- [11] E. Mikson, B. Reppo, „Energetic load of herdsman by the operating environment of uninsulated cowshed,” in: *Proceedings: Advanced technologies for energy producing and effective utilization*, Jelgava 2004, pp. 151–156.

Lüpsirobotiga lauda töökeskkonna riskianalüüs

Working environment risk analysis in robotic milking farm

G. Riistan, B. Reppo

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

Abstract. Robotic milking machines take over the labour of dairy farming and reduce the need of human interaction, which means the worker in robotic dairy farm does not have to do so much physical work. That kind of work environment differs a lot from work environment in the past when dairy farming was physically very demanding. The aim of this study was to find out what kind of risks are in working environment in robotic dairy farms and how workers describe them. The study comprised 21 workers from four robotic farms with two, four, four and six DeLaval milking robots. A modified version of risk analysis questionnaire was used to identify and collect information about physical, chemical, biological, ergonomic and psychosocial hazards in the workplace. The average working experience in robotic milking farm was 3,9 years, 76,2% from respondents were women and 23,8% men. From physical hazards most important was noise, which was mentioned by 91,5% respondents. Air temperature was problem for 57,1% of workers. Almost half (47,6%) of the respondents answered that they use chemicals everyday. All the workers (100%) said there is dust in their workplace. Slipperiness was mentioned by 71,4% respondents. Physically demanding was job for 51,1% respondents sometimes and often 38,1%. Time to rest had 57,1% sometimes, 33,3% often and 9,5% not at all. To investigate working environment in robotic dairy farm thorough, is recommended to measure indoor climate, make interviews with workers and observe and analyse the environment in robotic milking farm.

Key words: dairy farming, robotic milking, work environment in a farm, physical hazards

SISSEJUHATUS

Piimafarmis on lüpsmine aeganõudev ja füsioloogiliselt raske töö [1]. Seetõttu hakkas 1970. aastate keskel arenema idee täiesti automaatsest lüpsiprotsessist [2]. Lüpsitehnoloogia arendamise ehk lüpsi automatiseerimise peamiseks eesmärgideks on parandada lüpsikvaliteeti ja vähendada lüpsiga seotud töökulu. Ka lüpsiprotsessi on muudetud lehma füsioloogilistele nõuetele sobivamaks. Praegusel ajal on lüpsitehnoloogia areng jõudnud nii kaugele, et kasutusele on võetud automaatsed lüpsisüsteemid (ingl k *automatic milking systems* – AMS), mis on teinud võimalikuks lehma lüpssta täieliku inimsekkumiseta. Automaatse lüpsisüsteemi kohta kasutatakse ka nimetust vabatahtlik lüpsisüsteem (ingl k *voluntary milking system* – VMS), mis viitab sellele, et lüps toimub selvelüpsina lehma tahte alusel. Automaatlüpsi kasutuselevõtt pani aluse täisautomaatse tehnoloogiaga piimatootmise ehk piimatootmise selvetechnoloogia rakendumisele [3].

Tänapäeval kasutab täisautomaatset lüpsitehnoloogiat üle 8000 piimatootmisega seotud ettevõtte maailmas [1]. Automatiseeritud lüpsitehnoloogia võimaldab lüpssta kaks kuni kolm korda päevas inimese kohaoluta. Farmi töö sujuvus ja töötaja tööülesanded ei ole seotud nii tihedalt inimese füüsilise panusega, vaid on

rohkem asendunud arvutitööga. Automatiseeritud tehnoloogiaga lüpsifarmis toimub kõigi tööde juhtimine arvuti kaudu. Ettevõtet on välja arendatud erinevad spetsiaalsed haldustarkvarad automatiseeritud lüpsifarmile, mis tagavad pideva kontrolli lehmade lüpsmise, söötmise, tervise, piimajahutuse üle. Selle peamiseks juhtpaneeliks on lehmade jälgimise seade, mis suudab hõlpsalt ja kiiresti tuvastada mingil põhjusel tähelepanu nõudvad lehmad ja omada kontrolli iga lehma vajaduste üle individuaalselt [1, 4].

Käesoleva uurimistöö eesmärk on uurida robotlüpsilauda töökeskkonda – millised on esineda võivad riskid ja kuidas töötajad ise neid tajuvad. Sellise lauda töökeskkonna uurimine on aktuaalne, sest robotlüpsi tehnoloogiat võetakse järjest enam kasutusele, kuid on teadmata, mismoodi mõjutab see töötajat töökeskkonnas. Käesoleva uurimuse uudsus seisneb eelkõige selles, et kuigi on uuritud töökeskkonda käsitsilüpsil, kannulüpsil ja torusselüpsil ning platsillüpsil, pole varasemalt uuritud töökeskkonda ja selles esineda võivaid riske töötaja tervisele lüpsirobotiga laudas.

MATERJAL JA METOODIKA

Ohtude ja ohutegurite välja selgitamiseks kasutati anonüümset ankeetmeetodit. Ankeetküsimustik on kokku pandud Örebro Ülikoolis välja töötatud ning Tartu Ülikooli tervishoiu instituudis modifitseeritud küsimustiku abil, Tööinspektsiooni kodulehel oleva töökeskkonna hindamise ankeedi ning Tartu Ülikooli Keskkonna- ja töötervishoiu õppetooli küsimustiku põhjal. Ankeedis oli nii avatuid kui ka kinniseid küsimusi. Vastav riskianalüüsi küsimustik sisaldas füüsikalisi, keemilisi, bioloogilisi, füsioloogilisi ja psühhosotsiaalseid ohutegureid, mis olid vastamise lihtsustamise mõttes jagatud erinevatesse plokkidesse teemade kaupa.

Uurimus viidi läbi 2016. aasta märtsikuus neljas ettevõttes, kus on kasutusel DeLaval lüpsirobotid. Uuriti nelja lauta, kus oli robotlüpsil käivaid lehmi oli 127, 204, 227, 400 ning robotite arv vastavalt nimetatud veiste arvule kaks, neli, neli ja kuus. Enne ankeetide jagamist selgitati välja, kui palju inimesi igas farmis puutub kokku lüpsiroboti tööga ning missugune on nende ametinimetus ja tööülesanded. Robotlüpsilaudas käib töö tavaliselt kahes vahetuses (päevane ja öine). Päevases vahetuses töötavad koos farmitööline ja loomade söötja, öises vahetuses toimetab farmitööline üksi. Peamised farmitöölise tööülesanded olid: loomade söötmine, asemete puhastamine, lüpsile ajamine, lüpsirobotite jälgimine, puhtuse tagamine laudas, poegimiste vastuvõtmine ja vasikate jootmine. Söötja tegeles eelkõige loomade söötmise ja heaolu tagamisega ning muude laudas tekkida võivate jooksvate ülesannete lahendamisega.

Nelja farmi peale jagati 21 ankeeti, mis saadi kõik täidetuna tagasi. Töötajatel oli võimalik ankeedile vastamisel tekkivate probleemide puhul pöörduda küsitluse läbiviija poole konsulteerimiseks ja täpsustavateks küsimusteks. Küsitlusele vastasid nii päevases kui ka öises vahetuses töötajad, küsitlute seas oli nii naisi kui ka mehi. Ankeedile vastasid kõik töötajad, kes töötasid robotlüpsilaudas. Vastused ankeedile olid subjektiivsed. Tulemused võeti kokku ja üldistati.

TULEMUSED JA ARUTELU

Nelja farmi peale kokku vastas küsitlusele 21 robotlüksilaudas töötavat inimest. Vastanutest 23,8% olid mehed ja 76,2% naised. Kõige vanem vastanu oli sündinud 1963. aastal ja kõige noorem 1994. aastal. Vastanute keskmine tööaaz ettevõtetes oli 3,9 aastat. Keskmiselt töötab robotlüksilaudas inimene 45,7 tundi nädalas. Lisatöö tegemist märkis vastanutest 38,1%. Lisatööna nimetati veterinaararsti abiks olemist, lüpsmist, vasikate jootmist ja traktoristi tööd. Põhiliste töövahenditena nimetati roopi, labidat, vikla ja traktorit, aga ka arvutit, märkmikku ja pastakat.

Müra töökeskkonnas märkis 91,5% vastanutest, 9,5% müra ei täheldanud. Müraga häiritud vastanutest ütles 10,5%, et seda on mõni kord nädalas ning 89,5%, et müra on iga päev. Kõige rohkem mainiti müra allikatena traktoreid, lüpsiroboteid, söödamiksrüt ja kompressoreid. Vastanutest peaaegu pooled (47,4%) iseloomustasid müra kui pidevat ühtlast, 36,8% märkis, et müra on katkendlik ning 15,8%, et müra on pidev ebaühtlane. Müra kuulnutest märkis selle keskmiseks 73,7%, nõrgaks 15,8% ja tugevaks 10,5%. Kõige enam vastati, et müra on „laudas igal pool“, robotite juures ja ka traktorite töötamise ajal nende läheduses. Isikukaitsevahendeid (kõrvaklappe) kasutas küsitletutest 4,8% ehk üks töötaja. Robotlüksilaudas on müra esinemine tavapärane – töötav tehnika ja masinad on igapäevased müraallikad. On vajalik, et töötajad kasutaksid isikukaitsevahendeid (kõrvaklapid, kõrvatropid) iga päev, et vähendada müra kahjuliku mõju inimese tervisele.

Vibratsiooniga puutus kokku 28,6% küsitletutest. Üldist vibratsiooni ja vibratsiooni kätele tundsid pooled (50%) ja jalgadele 33,4% vibratsiooni tundnud vastanutest. Vibratsiooni olemasolu igapäevaselt märkis neist 83,8% ja mõnel korral nädalas 16,7%. Vibratsiooni allikateks märgiti traktor, söödamikser ja survepesuri otsik. Vibratsiooni kahjulikku mõju organismile võimendab füüsiline koormus, sundasendis töötamine, madal temperatuur, müra ja niiskus, mille kõigega robotlauda töökeskkonnas töötaja ka kokku puutub. Närvipõletike vältimiseks tuleb kanda spetsiaalset vibratsiooni kaitsevööd. Vibratsiooni kahjulikku mõju vähendab ka spetsiaalne vibratsiooni padi, mis pannakse juhiistmele. Traktorist peab vibratsiooni mõju vähendamiseks kandma paksu tallaga jalatseid ning kabiini põrandale, jalgade alla tuleb asetada pehme matt. Käsitööriistade vibratsiooni saab vähendada vedrustuse ja kummist amortisaatorite abil, mis monteeritakse tööriista korpuse ja käepideme vahele. Lokaalse vibratsiooni vältimiseks on olemas spetsiaalsed vibrokindad. Kõiki nimetatud meetodeid tuleks kasutada töötades robotlüksilaudas.

Valgustusega oli rahul 76,2% töötajatest, kuid 23,8% kurtis liigse hämaruse üle. **Õhu temperatuuriga** olid rahul 42,9% vastanutest, rahulolematuid oli 57,1%. Liigset külma talvel kurdeti 75% juhtudest ja liigset kuuma suvel 58% juhtudest. Liigne temperatuuri kõikumine töökeskkonnas häirib 58% vastanutest. Liiga sooja talvel märgiti 8,3%. Ebasoodsa temperatuuri olusid on võimalik vältida valides õige riituse, mis vastavas aastaajas kõige paremini toimib. **Häirivat tuuletõmbust** märkis pidevalt 14,3%, mõnikord 80,9% ja mitte üldse 4,8% küsitletutest. Tuuletõmbuse esinemiskohtadena märgiti kõige enam lauta, söödakäiku ning akende ja uste lähedust. Selle vältimiseks oleks oluline välja selgitada konkreetsed uste/akende olekud tuuletõmbuse ajal ning seejärel reguleerida need selliselt (vajadusel kasutada spetsiaalseid õhukardinaid), et tuuletõmbust ei tekiks.

Õhu kvaliteediga ei olnud rahul 33,3%, rahul oli 66,7% vastanutest. Kõige enam häirisid halvad lõhnad (33,3%), tolmune õhk (28,6%), liiga niiske õhk (19%) ja umbne õhk (14,3%). Suurem osa lautadest (95,2%) on õhutatavad loomuliku ventilatsiooni abil, ukse kaudu õhutatakse 76,2% l ja kunstlik ventilatsioon on 38,1% lautadest, kuid tundub, et sellest ei piisa, sest vastanud töökeskkonna sisekliimaga rahul siiski ei ole.

Soojust kiirgavatest seadmetest nimetati 4,8% soojuslampe vasikatele, 4,8% traktorit ja 4,8% küttekehasid. Ruumikitsikust märkis 9,5% vastanutest. Takistuste esinemist vastas 19% küsitlustest. Töötamiskohas märkis **libedust** 71,4%, ülejäänud (28,6%) ei pidanud töökohta libedaks. Kõige libedamaks nimetati põrandad (33,3%) ja ala robotite juures (23,8%). Libedus on tingitud vee kasutamisest robotite läheduses ja loomade eritistest nende juures, lisaks muudab põrandad libedaks ka sage pesemine. Libeduse vastu oleks kõige mõistlikum kasutada spetsiaalse tallaga kummikuid, mis vähendavad libisemise ohtu või kasutada põrandakattena libisemiskindlaid matte, reste.

Staatilist elektrit märkis üks vastaja, kes täpsustas, et puutub sellega kokku vasikatega tegeledes. Kõigil (100%) robotlõpsiga laudas töötavatel inimestel on olemas kätepesu ja dušši kasutamise võimalus.

Keemiliste ohuteguritega puutus kokku 47,6% vastanutest, teised (52,4%) keemilisi ohutegureid töötamise käigus ei märkinud. Need küsitletud (47,6%), kes puutusid kokku keemiliste ohuteguritega, märkisid ka, et kasutavad happelist ja leelist kemikaali robotite juures ning puhastamisel. **Tolmu** esinemist töökohas märkisid kõik vastanud (100%) ja seda kogu töötamiskeskkonnas. Isikukaitsevahendit tolmu vastu kasutas 4,8% vastanutest. Tolm laudas on probleemiks, mida valdkonna omapära tõttu ei ole võimalik täielikult lahendada, seetõttu on olulisem kasutada isiklikke kaitsevahendeid (respiraatorid, kaitseprillid).

Nakkusohuga puutus kokku 47,6% vastanutest, 52,4% nakkusohu ei kartnud. Kõik ankeedile vastanud ütlesid, et töökeskkonnas esineb närilisi (peamiselt hiired) ja putukaid. Näriliste vastu aitab regulaarne mürgitamine. Hallitust on töökohal märganud 9,5%. Ruumide puhastust pidas piisavaks 85,7% küsitletutest, aga 14,3% sellega rahul ei olnud. Nakkushaiguste vastu vaksineerituid oli 14,3%.

Füüsiliselt raskeks pidas oma tööd 57,1% mõnikord, 38,1% sageli ja 4,8% ütles, et töö ei ole raske füüsiliselt. Raskuste teisaldamine vaheldus teiste tööülesannetega 81% vastanute sõnul, aga 19% nii ei arvanud. Tehnilistest abinõudest kasutati traktorit (47,6%) ja käru (14,3%). Raskuste tõstmise sagedus tööpäeva jooksul oli suurim (47,6%) kategoorias „alla 10 korra 1–40 kg korraga“, ülejäänud (28,6%) vastasid, et teisaldavad raskusi „10–19 korda 10 kg korraga“. Küsitletutest 23,8% olid jätnud vastamata. Põhiliselt oli teisaldavaks materjaliks loomasööt (38%), aga 28,6% pidas oluliseks ka vasikate teisaldamist. Lüpsioperaatori töö laudas eeldab head füüsilist vormi, sest töö nõuab pidevat füüsilist pingutust.

Kehaasendite hinangul märgiti võrdselt (28,6%) I ja II kehaasendit, järgnes asend IV (23,8%) ja kõige vähem töötati asendis III (19%). Suurem enamus vastanutest (95,2%) ütles, et raskuste teisaldamiseks on piisavalt ruumi, 4,8% arvas, et ruumi pole piisavalt. **Sundasendite** kohta vastas 38,1%, et neid ei esine üldse, 33,3%, et esineb mõnikord ja 28,6%, et esineb sageli. Kõige enam koormatud kehaosad olid jalad ja käed (71,4%), järgnes selg (47,6%), kaela-õlapiirkond (38,1%) ja puusad (14,3%).

Töövahendeid pidas mugavaks vastanutest 90,8%, ebamugavaks 9,5%. Piisavalt aega puhkamiseks oli mõnikord 57,1% vastanutest, sageli 33,3% ja mitte üldse 9,5% küsitletutest.

Vaheldusrikkaks pidas oma tööd sageli 66,7%, mõnikord 23,8% vastanutest. Üksluseks arvas oma töö 9,5% ankeedile vastanud töötajatest. Ülesandeid, mis töötajate arvates nende kohustuste hulka ei kuulunud, täitis sageli 9,5%, mõnikord 47,6% ning ei täitnud üldse 42,9% vastanutest. Tööjuhend oli 90,8%, kuid ei olnud 9,5% küsitletutest. Koolitustele oli suunatud 33,3% töötajatest, ülejäänud (66,7%) koolitustel osalenud ei olnud. Konflikte ülemustega esines sageli 4,8%, mõnikord 42,9% ja mitte üldse 52,4%. Kolleegidega konflikte ei olnud 47,6%, mõnikord oli 47,6% ja sageli 4,8% vastajatest. Piisavalt infot töötulemuste kohta sai mõnikord 33,3%, sageli 42,9% vastanutest, kuid 23,8% küsitletutest ei saanud üldse mingit infot töötulemuste kohta, mis võib põhjustada liigset vaimset pinget, sest töötaja ei tea, kas tema töö on tehtud hästi ja tulemuslik.

JÄRELDUSED

Ankeetküsitluse tulemusena selgus, et robotlüpsiga lauda töökeskkond vajab edasist uurimist. Kindlasti peaks teostama sisekliima näitajate mõõtmisi, sest üle poolte (57,1%) vastanutest märkis, et nad ei ole töökeskkonna temperatuuriga rahul. Rahulolematust tunti ka seoses õhu kvaliteedi ja liikumise kiirusega. Valgustusega oldi üldiselt rahul, kuid leidis ka neid, kes kurtsid liigset hämarust.

Oluline on välja selgitada müra potentsiaalne ohtlik iseloom töötaja tervisele, sest müra kuulis töökeskkonnas 91,5% ja neist 89,5% igapäevaselt. Isikukaitsevahendit müra vastu kasutab vaid 4,8% vastanutest. Kindlasti peab välja selgitama ka vibratsiooni esinemise ja mõju töötavale inimesele robotlaudas. Häirivaks märgiti ka põrandate libedus (71,4%), mille põhjus vajab selgitamist ja mille suhtes on vaja abinõud kasutusele võtta.

Uurimist vajab keemiliste ohutegurite olemus robotlüpsiga lauda töökeskkonnas. On teada, et robotite puhastamiseks ja seadmete puhtana hoidmiseks kasutatakse laialdaselt tugevalt happelisi ja leeliselisi kemikaale, millel on mõju ka inimese tervisele. Selliste kemikaalide kasutamist tunnistas käesolevas uurimuses oma ametis alla poolte (47,6%) vastanutest, ülejäänud märkisid, et nemad keemiliste ohuteguritega kokku ei puutu.

Töökeskkonna füsioloogilisi ohutegureid on vajalik edasi uurida. Küsitletutest 71,4% vastasid, et neil on koormatud kehaosadeks käed ja jalad, peaaegu pooled (47,6%) kurtsid veel selja ülekoormatust. Ka füsioloogiliselt kõige rohkem ülekoormust tekitada võivat kehaasendit (IV) raskuste teisaldamisel märkis peaaegu ¼ vastanutest (23,8%). See on märkimist väärt tulemus, sest vastanutest 76,2% kinnitas, et õiged töövõtted on neile teada. Seega tuleb hinnata terviseriski raskuste käsitsi teisaldamisel. Vajalik on läbi viia ka energeetilise koormatuse ja töövõime uurimine farmitöölise ja söötjate seas.

Kõige eelnimetatu põhjalikumaks uurimiseks on soovitatav läbi viia töökeskkonna vaatlus ja intervjuud selgitavate kommentaaride saamiseks küsitluses osalenutega. Pärast sisekliima näitajate reaalsete väärtuste väljaselgitamist ja nende võrdlemisega kehtestatud normidega töökeskkonnale, on oluline kindlaks teha müra intensiivsus töökeskkonnas. Seejärel, pärast täiendavat lüpsirobotiga lauda töökeskkonna uurimist, on võimalik teha ettepanekuid ja muudatusi sellise töökeskkonna loomiseks robotlüksilaudas, mis oleks võimalikult töötaja tervist ja töövõimet säästev.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Koning, K. Automatic Milking – Common Practice on Dairy Farms. *The First North American Conference on Precision Dairy Management*. – Lelystad: Wageningen UR Livestock Research, 2003.
- [2] Koning, K. Vorst, Y. and Meijering, A. Automatic Milking Experience and Development in Europe. *The First North American Conference on Robotic Milking*. – Wageningen: Wageningen Pers, 2002, lk I-1–I-11.
- [3] Eesti Põllu- ja Maamajanduse Nõuandeteenistus. Lüpsirobot. 2012. Kättesaadav: <http://www.pikk.ee/valdkonnad/loomakasvatus/veisekasvatus/lupsirobot> (15.03.2013).
- [4] Ouweltjes, W. Demands and Opportunities for Operational Management Support. Applied Research, Animal Science Group Wageningen UR. – 2004.

Protection zone situation research near water courses at East Latgalian forestry

J. Krilova

Rezekne Technological Academy, Faculty of engineering

Abstract. Forests produce a large amount of detritus that inevitably end up in streams, subsidizing aquatic systems with organic matter and nutrients. The article contains information about water quality factors near the water bodies at East Latgalian forestry in Latvia. Work is reflected in the details of the stand basal detection methods. Water samples from the bodies of surface water are collected in different seasons, to be able to compare the greatest protective effect on water quality. Spring, summer and autumn period, collected water samples in the laboratory was set chemical oxygen demand using manganese method, and was determined total phosphorus and nitrogen in water, pH and conductivity. Individual samples were collected to determine the microbial contamination. Sampling time on the ground was measured in the stand basal area of the forest stand growth potential, fixed water fallen trees for every 100 meters, but the water was measured oxygen. If leaf litter is abundant and high quality, the incorporation of energy into detrital food webs can be processed very quickly. However, if leaves are well protected and nutrients in the water are low, processing rates are equally very low, independently of the ambient temperatures.

Keywords: guard at water bodies, water biochemical and chemical analysis, riparian zone, organic matter, litter.

INTRODUCTION

Protection zones are designated areas, whose task is to protect different types of objects (natural and artificial) from undesirable external effects, to ensure the exploitation and safety, or to protect the environment and people from the harmful effects of an object [1]. Protection installation aims to protect water bodies from pollution entering them. However, if protection is not sufficiently well managed watercourses and shores are seamlessly overgrown with trees and bushes that become watercourses pollutants. Following the reference [2] the most protection zones are threatened during the season of autumn, when fallen tree leaves begin to decay in the water. Fallen leaves in the water is a relatively slow rate of decomposition, its decay process consumes a large amount of oxygen, as well as their decomposition in the water increases the amount of nutrients [3]. Therefore, they are considered to be pollutants.

According to the literature data summary [4] there are still few studies in which have been researched impact of tree species growing on the banks of Latvian forest rivers and streams on nutrient cycling in coastal protection zone. With increasing environmental eutrophication, nutrients studies, especially nitrogen studies, are ecologically important.

For these reasons, it is necessary to clarify the extent to which protection may affect the environment or to water bodies and if their effects can really harm the water bodies and watercourses ecosystem.

MATERIALS AND METHODS

To test the ability to grow of the protective zone of forest growing trees has been used Bitterlich ruler and plot method.

This method is based on the principle that the stand basal area is measured in some park-specific locations, and measurement of the average value is extended to the whole plantation. One of the most common methods is a method of Austrian forestry engineer Walter Bitterlich who recommended basal detection principle in 1948 [5]. According to W. Bitterlich method stands basal states endorsing the specific place (plot center) for all the surrounding trees on 1.3 m height with a complete turn round of endorsement 360° uses an instrument called Bitterlich ruler. Simplified Bitterlich ruler consists of fixed-length non-elastic cords, which are all fixed to the measurement frame established by the size of the neckline (measurement gap) [5].

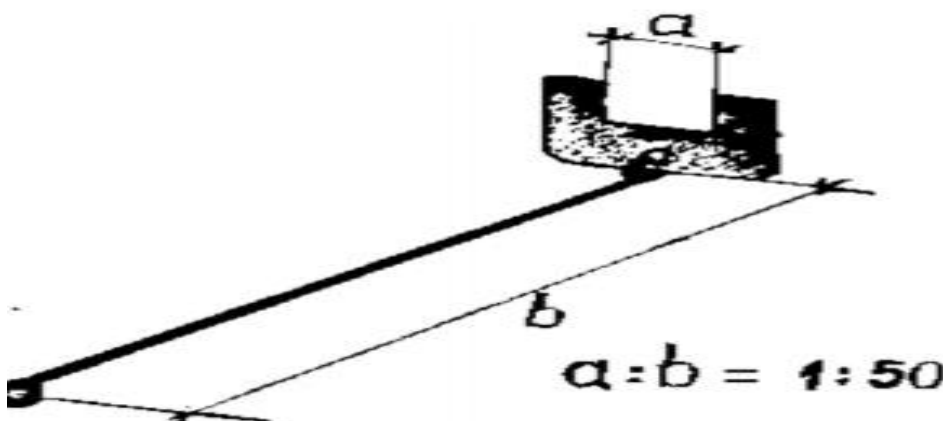


Figure 1.Bitterlich ruler. Source [5]

Figure 1 displays Bitterlich ruler with the letter b - cord length is marked with the letter a - measured slit width, but with a d - slit center. The ratio of a: b indicates the measured gap-width ratio of the length of the string.

Water samples collected during spring, summer and autumn periods were tested in the laboratory and was set chemical oxygen demand using manganese method, and have been determined total phosphorus and nitrogen content in the water, pH and its conductivity. Individual samples were also collected to determine the microbial contamination.

RESULTS AND DISCUSSION

During the research were surveyed two watercourses – the Zibla stream and the river Staigupe where water samples were collected for further analysis in the laboratory.

Doing the inspection and measuring the amount of oxygen in water bodies it was determined that in autumn period the amount of dissolved oxygen in both studied watercourses along the guard falls is below a specified threshold.

To have normal life processes, surface water oxygen content may not be less than 7 mg/l [6]. During the inspection the lowest score of the Ziblas stream was 0.55 mg/l, which is below the minimum allowable value.

Chemical oxygen demand (COD) shows readily biodegradable organic material, the higher the COD, the more need is to consume oxygen to break down organic matter. Looking at 1.tab we can see the results. The highest level of the COD indicator of the Zibla stream is 488 mg/l, which was obtained in November after leaves fall, but in water samples from the river Staigupe, November month highest level of COD ratio is 308 mg/l. Both of these indicators point to the fact that the watercourse is polluted with organic substances, which consume a lot of oxygen to be destructed. In Cabinet of Ministers regulations is not mentioned COD threshold that is defined for surface waters, but it is noted that waste water parameters characterizing the threshold is <125 mg/l, all the results in Table 1 are above this threshold.

Table 1. Water quality indicators and comparison of the Zibla stream and the river Staigupe

Indicators Name	COD in water [mg/l]	Dissolved oxygen demand [mg/l]	The total amount of phosphorus in water [mg/l]	The total amount of nitrogen in the water [mg/l]	Conductivity [$\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$]	pH
Cabinet Regulations set (threshold)	< 125	≥ 7	0,75 – 1,10	< 2	Max 2500 μS	6-9
Staigupe River source	204	8.23	0.92	1.98	122.9	7.03
Staigupe river, Property "Tilagals"	244	0.91	1.4	3.68	109.9	6.85
Staigupe River entry into Bolupe River	214	1.15	3.56	3.86	120	6.98
Ziblas stream source	434	0.72	1.83	2.25	32.8	7.03
Ziblas stream, property name "Vālodzīte"	445	1.56	2.39	3.48	37.0	7.04
Ziblas stream property name "Lūsēni"	439	0.55	4.56	3.56	40.6	7.05
Ziblas stream property name "Straumaļi"	442	0.82	6.91	3.6	46.5	7.0
Borderland of Zibla stream	448	1.76	6.60	3.69	46.6	7.0

Looking at Table 1 obtained data, it can be concluded that in some parts of chemicals - the total amount of phosphorus in the water exceeds almost 3 times in the

Staigupe River and almost 6 times in the Ziblas stream. The total amount of nitrogen in the river Staigupe and Ziblas stream exceeds the Cabinet of Ministers regulations specified threshold almost 4 times. Wooded and forested areas have seen total phosphorus geometric progression, the most rapid growth is in the leaves fall period. Leaves of the trees serve as natural fertilizer source, and into the water they start to decompose, to consume water oxygen and to produce organic and inorganic substances, including phosphorus compounds. It shows that leaf trees closeness may adversely affect the river water quality and promote its eutrophication.

The resulting pH indicators show that the November results of the analyzes complies the Cabinet of Ministers Cabinet regulations, so pH is the limits of 6-9.

During the research, the peak resultant conductivity ratio is $122.9 \mu\text{S cm}^{-1}$. Permissible conductivity in drinking water $2500 \mu\text{S / cm}^{-1}$, it is not specified for surface waters, so summarizing the results we can conclude that the figures are in accordance with the norms of drinking water.

CONCLUSIONS

During the research were evaluated water quality and forest impact on the two watercourses – the Zibla stream and the river Staigupe.

After water analysis results it can be concluded that the lowest water quality indicators are in November in places where water courses from both sides are surrounded by forest and in places located next to agricultural land. So it can be concluded that the untidy forest protection zone may be a factor in the watercourse overgrowing and its ecosystem destruction. In order to avoid the negative consequences the coastline must be cleaned but not removed, as a forest protection zone partially protect water courses from agricultural activities.

This study points to the fact that research activities in this regard should be continued on a larger scale through research of Latvian rivers, streams and lakes to find out the total water pollution picture of water courses and water bodies.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was scientifically supervised by **Rasma Tretjakova**

REFERENCES

- [1.] R.D.Barling and I.D.Moore. Role of buffer strips in management of waterway pollution: a review. Environmental Management, vol. 18, p 543-558, 1994.
- [2.] H.S.Austin. Riparian Forest Handbook 1 Appreciating and Evaluating Stream Side Forests. The Virginia Department of Forestry 900 Natural Resources Drive, Suite 800 Charlottesville, Virginia 22903, pp – 5, 2000.
- [3.] Z. Lībiete-Zālīte. Mežsaimniecisko darbību ietekmes uz vidi un bioloģisko daudzveidību izpēte.2011.
Available:http://lvm.lv/lat/lvm/zinatniskie_petijumi/2011gada_izpetes_projektu_ataskaite/?doc=14285 [Accessed 5 12 2015].

- [4.] L.S. Clescerl, A. E. Greenberg and A.D. Eaton. Standard Methods for Examination of Water & Wastewater. (20th ed.). Washington, DC: American Public Health Association. ISBN 0-87553-235-7.
- [5.] W.Bitterlich. The Relascope Idea: relative measurements in forestry. Commonwealth Agricultural Bureaux. Slough (Buckinghamshire), p – 242, 1984. ISBN 0851985394.
- [6.] B.Gharabaghi, R.P.Rudra, H.R.Whiteley and W.T.Dickinson. Development of a management tool for vegetative filter strips. Best modelling practices for urban water systems, vol. 10, p 289-302, 2002.

Standardi ISO 6892-1:2010 järgse katse metoodika väljatöötamine Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi mõõtelaboris

*Standard ISO 6892-1: 2010 following the development of methodologies
measurement laboratory Estonian University of Life Sciences Institute of
Technology*

R. Drenkhan, T. Leemet

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Põllundus- ja tootmistehnika osakond

Annotatsioon. Käesolev artikkel kajastab standardi ISO 6892-1:2010 järgse katsekeha valmistamist ja vastava tootmistehnoloogia väljatöötamist. Silindrilise katsekeha valmistati Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi CNC õppelaboris, töötlemiskeskusel ja treipingil. Katsekeha valmimisel antakse ülevaade kasutatavale tehnoloogiale ja sammudest kuidas katsekeha valmis. Standardi kajastamises antakse ülevaade milline on katsekeha kuju ja mõõtmised ning millised on vastavalt standardile temale nõutavad mõõtmised.

Võtmesõnad: tõmbeteimik, ISO standard, töötlemis tehnoloogia, teimiku mõõtmised

SISSEJUHATUS

Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi mõõtelaboris teostatakse tõmbekatseid erinevate materjalidega. Standard EVS-EN ISO 6892-1:2010 kajastab ära millised peavad olema teimikute mõõtmised, nende kuju ning millisel viisil tuleb neid tõmbepingis tõmmata [1].

Standardit võib jagada suurusjärgus viieks osaks. Esmalt tutvustatakse ja selgitatakse kasutatavaid termineid ja nende määratlusi. Samuti tuuakse välja ka olulisemad tähised ja nende selgitused. Järgnevalt kajastatakse katsekehade kujusid ja nende mõõtmised ning kuidas neid liigitatakse. Kolmandaks tuuakse välja katsekehade katsetamise tingimused ning milliseid meetodeid on võimalik kasutada. Neljandaks kajastatakse ära kuidas teha kindlaks mõõtmiste määramatust ja selgitatakse saadavaid väärtusi. Mõõtmistest saadud väärtusi selgitatakse ka joonistel. Viiendaks antakse täiendavat lisainformatsiooni katsekehade mõõtude ja kujude osas [1,2].

Antud teema eesmärk on anda ülevaade kuidas peaks valmima standardi järgi katsekeha nii, et oleks võimalik teostada katse. Lisaks soovitakse luua ühtne tehnoloogia teimikute edaspidiseks valmistamiseks.

MATERJAL JA METOODIKA

Katsekehasid on võimalik valmistada Tehnikainstituudi CNC õppelaboris. Katsekehade toorikud mille materjaliks on alumiinium, valmistatakse katsekehad freesimis - ja treipingil, vastavalt standardile. Teimikud on oma kujult valdavalt lapikud ja silindrilise kujuga. Valmivad teimikud on silindri kujulised.

Sisse tulev materjal on ebakorrapärase kujuga ning nad tuleb esmalt vastavalt õigele pikkusele lõigata. Tooriku pikkus peab jääma peale otsade maha lõikamist $L=175$ mm, sest väljatöötatud tehnoloogia tõttu on see vajalik. Sisse tulev ebakorrapärane materjal on nähtav joonisel 1.



Joonis 1. Ebakorrapärase kujuga sisse tulev materjal
Figure 1. *Irregular shape incoming material*

Tooriku otsad tuleb lõigata sirgeks, et ta püsiks freesipingis stabiilselt. Järgnevalt asetatakse toorik freespinkki koos vastava rakisega, mis hoiab toorikut kõigest neljast küljest stabiilselt. Oluline on jälgida et tooriku keskpunkt jääks rakise keskpunktiga ühtima. Vastavalt ette kirjutatud freesimise koodile tuleb teostada vastavad tööpingi nullimised ja tasapindade määramised. Seejärel teostatakse freesimise töötsükkel mille käigus freesitakse tooriku ühte otsa silindri kuju, selleks et seda oleks parem treipingi spindlisse kinnitada. Samas puuritakse silindri kuju keskpunkti sisse ava. Tooriku kinnistus viis ja freesitud silindri kuju on nähtav joonisel 2.

Seejärel asetatakse freesimisest tulnud toorik treipinki. Spindli otsa kinnitatakse tooriku varasemalt välja freesitud ots. Vastavalt treipingis ette kirjutatud koodile teostatakse esmane tsükkel, kus tooriku teisele küljele puuritakse sisse ava. Ava on vajalik selleks, et suruda tooriku teisele küljele taga pukk, hoidmaks toorikut stabiilselt paigal treimise tsükli jooksul. Seejärel teostatakse kogu treimise tsükkel vastavalt ette kirjutatud koodile. Treimise tsükkel kujutab endast peamiselt koorivat töötlust ja puhastöötlust. Treimis tsükliga kujuneb välja ka teimiku kuju ja mõõtmed. Valmiva katsekeha kinnitusviis ja kuju peale treimist on nähtav joonisel 3.

Viimaseks tsükliks treimisel on katsekeha maha lõikamine tooriku otsast. Selleks kasutatakse detaili püüdmise korvi, et katsekeha väliselt mitte vigastada.

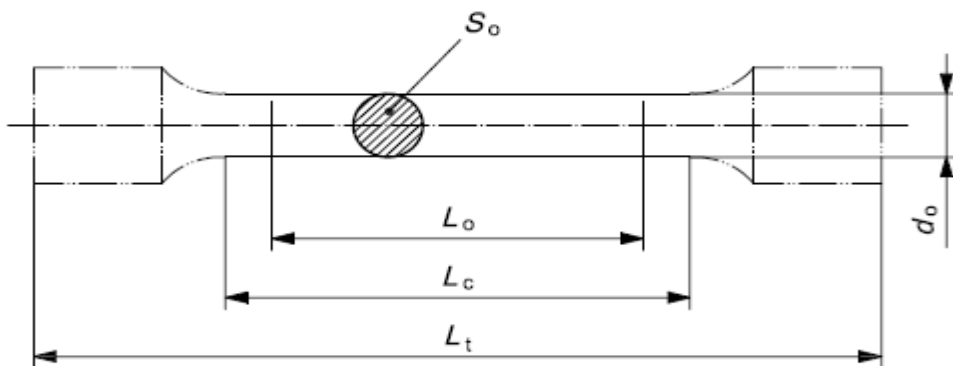
Vastavalt standardile võivad olla katsekehade ristlõiked kas ümmargused, ruudukujulised, ristkülikukujulised, rõngakujulised või siis erijuhtudel mõne muu ühtlaseristlõike kujuga. Antud juhul on kajastatud ümmarguse läbilõikega katsekehasid. Ümara ristlõikega katsekeha on nähtav joonisel 4 [1].



Joonis 2. Tooriku kinnistusviis rakises ja freesitud silindri kuju
Figure 2. Workpiece fixation method cracked and machined cylinder shape



Joonis 3. Treimisjärgne katsekeha kuju ja kinnitusviis
Figure 3. Turning the following body shape and method of attachment



Joonis 4. Ümara ristlõikega katsekeha [1]
Figure 4. Circular cross-section of the test piece [1]

Joonisel kujutatud tähised on järgnevad:

d_o - ümara katsekeha läbimõõt, mm;

L_c - katsekeha pikkus haarade vahel, mm;

L_o - katsekeha mõõtetav pikkus katse ajal, mm;

L_t - katsekeha kogupikkus, mm;

S_o - katsekeha ristlõike pindala, mm².

Vastavalt standardile ei tohi katsekeha mõõtetava pikkuse vahemik L_o olla väiksem kui 15 mm. Kui katsekeha ristlõikepindala on liiga väike, siis kasutada võrdetegurit, soovitatavalt 11,3. Samas peab olema katsekeha proportsionaalne koefitsendi tingimus täidetud. Kui kasutada katsekeha mõõtetava pikkuse vahemikku L_o väiksema väärtusena kui 20mm, võib mõõteviga olla suurem. Standardi järgselt peab katsekeha ülemineku raaduis olema $0,75d_o$, ehk 0,75 kordne katsekeha läbimõõt. Silindrilise katsekeha pikkus haarade vahel L_c peab olema võrdne $L_o + (d_o/2)$. Silindrilise ristlõikega katsekeha soovituslikud mõõtmed on toodud tabelis 1 [1;3-7].

Tabel 1. Silindrilise katsekeha soovituslikud mõõtmed [1]

Table 1. Cylindrical gauge indicative dimensions [1]

Proportsionaalne koefitsent k	Diaameeter d mm	Katsekeha mõõtetav pikkus katse ajal $L_o = k\sqrt{S_o}$ mm	Minimaalne pikkus haarade vahel L_c mm
5,65	20	100	110
	14	70	77
	10	50	55
	5	25	28

Mehaanilise tolerantsi ja lubatud piirhale mõõtmed olenevad katsekeha läbimõõdust. Kui katsekeha läbimõõt on näiteks 10mm siis tolerantis mõõt on lubatud $\pm 0,03$ mm. Katsekeha mõõt võib varieeruda selle järgi 9,97mm ja 10,03 mm vahel.

Lubatud piirhälbe mõõt on lubatud 0,04 mm kui katsekeha läbimõõt on 10 mm. Seega kui katekeha minimaalne läbimõõt on 9,99 mm siis maksimaalen läbimõõt ei tohi ületada 10,03 mm [1].

TULEMUSED JA JÄRLEDUS

Standardi kohaselt on teada valmiva katsekeha põhilised mõõtmed ja parameetrid. Katseliselt valmistati katsekehasid ja nad vastasid ette antud mõõtmetele. Oluline on et katsekeha mõõtmed ei ületaks ette antud väärtusi. Püstitatud eesmärk saadi täidetud, kuna valmis vastav katsekeha mida saab tõmbekatsel kasutada ning kujunes välja katsekeha valmistamise tehnoloogia väljatöötamine.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. EVS-EN ISO 6892-1:2010, Metallic materials -Tensile testing: Method of test at room temperatuure
2. EN ISO 6892-1:2009, Metallic materials -Tensile testing: Method of test at room temperatuure
3. ISO 3183, Petroleum and natural gas industries- Steel pipe for pipeline transportation systems
4. ISO 11960, Petroleum and natural gas industries- Steel pipes for use as casing or tubing for wells
5. ASTM A370, Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products
6. ASTM E8M, Standard test methods for tension testing of metallic materials
7. IACS W2, Test specimens and mechanical testing procedures for materials. In: Requirements concerning materials and welding. International Association of Classification Societies, London, 2003.

Membraanfiltri kasutamine biogaasi käitlemisel

The use of membrane in process of purifying biogas

M. Polma, J. Olt

Eesti Maaülikool, tehnikainstituut, põllundus- ja tootmistehnika osakond

Abstract. The aim of this project is to introduce the membrane system for upgrading biogas based on the restriction imposed to the test subject and also patent and market research. Selected system must ensure that the final product biomethane purification state is provided and the system must be easy to use.

Keywords: *membrane, filter, methane, biomethane, system*

SISSEJUHATUS

Nüüdisajal on välja töötatud erinevaid gaasi toimet töötavaid mootoreid. Enamjaolt töötavad need maagaasiga, kuid nüüd on hakatud rohkem uurima biometaani kasutamist erinevates masinates.

Antud töö keskendub biogaasi puhastamises biometaaniks, et seda oleks võimalik kasutada mootorites teaduslike katsete eesmärgil. Kuna biometaan läbib keskkonda, mis võib kaasa tuua erinevad keerukusi kui ei ole piisavalt puhas, siis pöörati tähelepanu reoveest tuleneva biogaasi ning ka erinevate restoranide jääkõli- ja teiste rasvainete biogaasi puhastamisele. Prügilast tulenev biogaas on võib sisaldada lisaks tavalistele lisanditele veel erinevaid tervisele kahjulikke keemilisi osakesi, mida on keeruline kätte saada.

Selleks, et saaks lasta biometaani mootorisse, peab gaas olema võimalikult puhas ning kuiv. See tagab meile seadmete pikaajalise tööea. Et saada võimalikult puhast biometaani, tuleb sellel läbida erinevad tsüklid, mille järjekord on paika pandud vastavalt iga järgneva sammu keerukusele ning lõpplahendusele. Nendest üheks tähtsaimaks tsüklik on gaasi läbijuhtimine membraanfiltrist. Filtri erinevad kihid tagavad selle, et gaasis mittevajalikud osakesed saaksid seotud ning kui biogaas filtrist väljub, siis juba puhtamal kujul.

Membraanfiltri parameetrite valiku juures tuli pöörata tähelepanu sellele, et korraga läbib kogu süsteemi 1 m³/h gaasi. Lisaks süsteemi rõhku tuli piirata, sest kui gaasi liiga kiiresti läbi joosta, ei puhastu see piisavalt, et saaks mootorisse lasta.

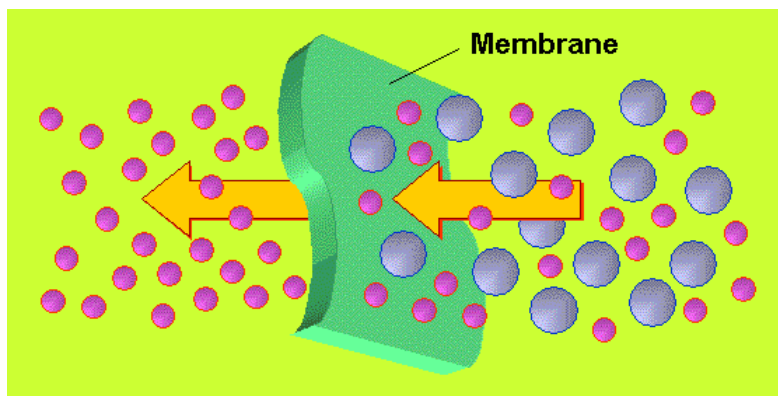
ÜLESANDED JA METOODIKA

Enamus membraanfiltreid on tehtud sünteetilisest orgaanilisest polümeerist (*polysulfone, cellulose acetate*). Erinevad filtreerimiskihid, mikro – ja ultrafiltreerimine, tehakse sageli samadest materjalidest, kuid erinevus seisneb pooride suuruses. Lisaks eelnimetatud sünteetiline orgaaniline polümeer, kasutatakse membraanfiltrite valmistamiseks mitteorgaanilisi materjale nagu näiteks metallid ja keraamika. Keraamiline filter on poorne, temperatuurile ning ka erinevatele

keemilistele ainete vastupidav, kuid kerge katkiminemise võimalus ning kõrge hind on nende kasutuse vähendanud. Metallist filtrid on reeglina tehtud roostevaba terasest ja võivad olla väga poorsed. Enamjaolt kasutatakse neid gaasi eraldamiseks, kuid võib ka kasutada vee filtreerimisel kõrgetel temperatuuridel või siis lisana mõnes muus membraanfiltrisüsteemis (National Environmental Services Center).

Membraanfiltris toimub gaasi eraldamine nii, et kehtib printsiip selektiivne läbitungimine membraani pinnast. See pinnas, olles kombinatsioon kahest erinevast mehhanismist – sõelumine ning imamine, on takistuseks mõnede osakeste eraldumisel ainest. Eraldamine saavutatakse kui selektiivselt on võimalik läbi pääseda mõnedel osakestel samal ajal kui mingid osakesed takistavad gaasivoolu lihtsakujulist läbijooksu membraanfiltrist [2].

Membraanfiltris toimub selektiivne osakeste eraldamine nii suuruse kui ka massi järgi alustades makromolekulaarsetest materjalidest nagu näiteks tärklis ja valk kuni monovalentseteioonideni välja [3].



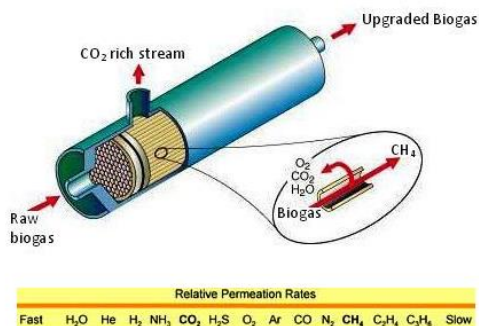
Joonis 1. Osakeste läbitungimine membraanfiltrist. Allikas: [3]

Fig 1. Particals movement trough membrane. Source: [3]

Membraanfiltris headeks omadusteks on kõrge selektiivne osakeste läbilaskvus, hea vastupidamisvõime mehhaanilisele, keemilisele ning ka termilisele keskkonnale, töökindel ning hea hinna ja kestvusaja suhtega.

Membraanfiltris kaks kõige suuremat halba omadust on väga väike võime koguda soovimatuid suuri osakesi ilma tööomaduste halvenemist põhjustades ning kõik osakesed väiksemad kui poori avad, ei pääse läbi filtri. Esimesel juhul tekib filtri pinnale mustus, mis ajapikku takistab, poore ummistades, osakeste liikumist läbi filtri. Teisel juhul isegi need osakesed, mis peaksid filtrist läbi pääsma, ei suuda seda alati ning hakkavad kogunema erinevatesse süvenditesse, kapillaaridesse, filtris põhjustades sellega ummistusi [4].

Tavaliselt kasutatakse filtrit joogivee ja tööstusgaaside eraldamiseks, kuid on võimalik kasutada ka osakeste eraldamiseks vedelatest hõljuvatest tükidest, õhu ja tööstusliku suitsugaasi puhastamiseks ning ka etanooli osakeste kuivatamiseks. Lisaks eelnimetatutele on võimalik veel ionide eraldamine elektrokeemilistes protsessides, vere ja uriini dialüüsiks, kunstlikke kopsude tegemiseks, ravimite doseerimiseks ning isegi andurite loomiseks.



Joonis 2. Erinevate osakeste läbitungimisvõime membraanfiltrist, *Allikas:* [5]

Fig 2. Different speed of partial movement through mebrane. *Source:* [5]

Tabel 1. Patendiuuring võtmesõnapõhise otsing patendi pealkirjast

Table 1. Patent classification patent keyword-based search of the patent title

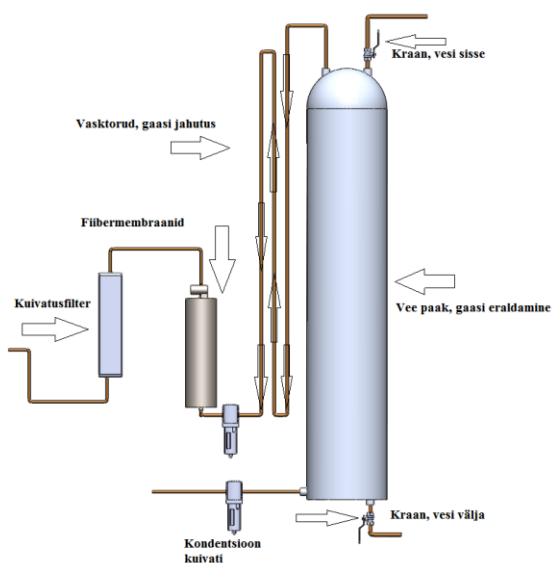
Otsingu märksõna	Vasted	Kasulikke	Märkused	Inglise keelsed	Tööpõhimõte	Patent	Kuupäev
Biogas	10278		Kasutasin otsingut ainult teema aktuaalsuse selgeks tegemiseks	-	-		-
Biogas upgrading	4	2		2	Membraan	KR101571479	24.11.2015
"Biogas Cleaning"	2	2		2	Veesammak koos fiiber filtriga	MD2767	31.05.2005
Biogas purifying	1	1	Patent sama, mis kui otsida "Biogas Cleaning"	1	Membraan	CN203794855	27.08.2014
C10L biogas upgrading	1	1	Koos kaks erinevat süsteemi	1	Membraan	EP2963107	6.01.2016

Kasutades otsingus lisa klassifikatsioonina C10L või C10K, mis viitavad vastavalt looduslikule gaasile ja gaaside puhastamisele, oli võimalik leida otsinguga täpsemad vasteid. Kuna eelnevalt oli tehtud üldisemate otsingusõnadega otsinguid, siis klassifikatsioon mingeid lisa tulemusi ei andnud ja tabelis kajastub ainult üks nendest otsingutest.

Kuna kõik 6 patenti, mis kasutavad vaid membraan tehnoloogiat, on pärit Aasia maadest, on nende patendite hindamine tõlke puudumise tõttu keeruline. Küll aga oli võimalik välja lugeda erinevaid puudusi.

Membraan puhastuse suurimaks puuduseks on puhastatava gaasi kadu ja probleem filtri käitlemisega peale kasutusperioodi lõppu. Kuidas ja kas on antud patentide juures see probleem lahendatud jääb ainult kokkuvõtete lugemise ja jooniste põhjal selgusetuks [6, 7, 8, 9, 10]. Võib-olla oleks võimalik puhastatava gaasi kadu vähendada väga täpse ava suurusega filtrit kasutades, või peale esimese filtri läbimist väljuv gaas uuesti filtreerides järgnevatel filtritel.

Vastavalt patendiuuringule ja membraanfiltri omadustele, sai süsteemi lisatud kaks membraanfiltrit. Esimene on suurema prahi filtreerimiseks ning teine on mõeldud puhastatud gaasi uuesti puhastamiseks, et oleks võimalik tagada võimalikult suure puhastusastmega biometaan.



Joonis 3. Biogaasipuhasti puhastussüsteem, ilma kompressoriteta

Fig 3. System of cleaning Bioethanol to produce methane, without compressor

JÄRELDUSED

Antud töös käsitleti biogaasi puhastamist membraanfiltril abil. Membraanfiltril omadused on multifunktsionaalsed ning võimaldavad läbi lasta erinevate ainetesisaldusega biogaasi. Kuna selliseid filtreid on erinevaid, siis põhjaliku arutelu käigus selgus, et vastavalt vajadusele on võimalik modifitseerida filtreid lisades poorseid roostevabaterastest tehtud filtreid süsteemidele, kus see puudub või jääb olemasolevast väheseks. Lisaks on võimalus kasutada keraamilist filtrit, kuid oma hapruse ja kõrge hinnaga ei ole see otstarbekas. Seega kasutada filtrit, mis on tehtud sünteetilisest orgaanilisest polümeerist, osutus kõige mõistlikumaks.

Põhjus, miks on vaja kasutada antud süsteemis kahte filtrit, on probleem, mis seisneb esimese filtril suutmatuses suure tõenäosusega puhastada piisavalt biometaanil, et puhtusaste oleks lõplikult saavutatav minimaalselt 80%. Seda probleemi saab lahendada kui kasutada kahte samasugust filtrit kõrvuti.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] National Environmental Services Center, "Membrane Filtration," West Virginia University, 1999 [online]. Available: http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009_tb/membrane_DWFSOM43.pdf. [Accessed 03.2016.a.].
- [2] Sepuran, "Membrane technology for upgrading biogas efficiently," [online]. <http://www.sepuran.com/sites/lists/PP-HP/Documents/SEPURAN-green-for-upgrading-biogas-EN.pdf>. [Accessed 04.2016. a.].
- [3] Separation processes. "Introduction to membrane Science and Technology." [online]. Available: http://www.separationprocesses.com/Membrane/MT_Ch01.htm. [Accessed 04.2016. a.].

- [4] Block, Seymour S." Disinfection, Sterilization, and Preservation." University of Florida: Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
- [5] HPS, "The Carbotex MS biogas upgrading system," [online]. Available: <http://www.heatandpowerltd.co.uk/index.php?chp/products/biogas/> .[Accessed 04.2016. a.].
- [6] TTÜ, "Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus ning keskkonna ja majanduslikud mõjud,"[2014], TTÜ kirjastus. Available: http://www.eby.ee/BIO/Laiendatud_kokkuvote_2014.pdf .[Accessed 04.2016. a.].
- [7] "Membrane contactor system and contacting method for upgrading biogas," Korea: Patent KR101571479, 24. 11. 2015. a.
- [8] Hoon K.J., Ryoung P.B., Soon K.T., Jun C.B., Hoon H.S. "A multi-stage membrane process and an upgrading apparatus for the production of high purity methane gas using low operation pressure and temperature conditions." Korea: Patent KR101529130, 17. 06. 2015. a.
- [9] Hoon K.J., Hoon H.S. "Multi-stage membrane process and an upgrading apparatus for the production of high purity methane gas." Korea: Patent KR101529129, 17.06.2015. a.
- [10] Hoon K.J., Seong A.H., Jun C.B., In K.C., Sang K.J. "Biogas upgrading process and plants using microporous hollow fiber membranes." Korea: Patent KR20140049702. 28. 04. 2014. a.

Mootorsõidukis mõjuva kiirenduse mõõtmise elektroonilise mõõteahela abil

Electronic measuring circuit for measuring acceleration effect on passengers in motor vehicle.

P. Aare, A. Küüt

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Põllundus- ja tootmistehnika osakond

Annotatsioon. Artiklis kirjeldatakse sõidukile tagant otsasõidul sõitjatele tekkivaid vigastusi ja nende tõsidust. Lisaks kirjeldatakse vigastustest paranemiseks kuluva aja ja kokkupõrke ajal mõjuva kiirenduse omavahelisi seoseid. Antud uuringus katsetatakse kiirenduse mõõtmise andurit, et seda kasutada mootorsõidukis mõjuvate jõudude simuleerimiseks mõeldud peatoestendis.

Märksõnad: tagant otsasõit, kiirendusandur, peatoestend.

SISSEJUHATUS

Sõiduki äkilisest kiirendusest või pidurdusest tingitud järsk pea ette ja taha liikumine (inglisekeeles *whiplash*) ja sellest põhjustatud kaelavalu on võrdlemisi levinud vigastus. Ainuüksi Ameerika Ühendriikides kulutatakse aastas hinnanguliselt 30 miljardit dollarit kaelavigastusega patsientide ravi- ja muude kulude (töölt eemalviibimine jms) katteks [1].

Erinevate uurimistöödega on proovitud panna paika kiirust, millest alates muutub tagant otsasõit ohtlikuks. W. H. M. Castro *et al.* 1997. aastal läbi viidud uuringu põhjal leiti, et inimese jaoks ohutu kiiruse muutus jääb vahemikku 10-15 km/h ja kiirendus alla 3,6 g, s.o $35,28 \text{ m/s}^2$ ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$) [2].

Krafft *et al.* 2005. aastal tehtud uurimistöös varustati 60 000 autot kiirendusanduritega, mis salvestasid tagant otsasõidul mõjuvad jõud. Eemaldades mittedsobivad katsealused (kellel oli olnud varasemaid kaelaprobleeme või kes olid varasemalt avariides osalenud), jäi valimisse 207 esiistmel avariasse sattunud isikut. Uuringu käigus leiti korrelatsioon sümptomite kestuse, tõsiduse, kiirenduse ja kiiruse muutuse vahel. Leiti, et kokkupõrkel, mille ajal kiiruse muutus oli suurem kui 8 km/h ja kiirendus suurem kui 5 g, oli 20% juhtudel tegemist vigastusega, millest paranemiseks kulus üle kuu aja. Avariides, milles mõjuv kiirendus oli 3 g või alla, oli valimis olnud inimesest vaid ühel juhul tegemist kuu pikkuse vigastusega [3]. Howard *et al.* (1999) ja Ray (2000) kirjeldavad samuti peale mõjuva kiirenduse mõõtmist kui kõige täpsemat vigastuste analüüsimise meetodit [4,5].

Käesoleva artikli autorite eesmärgiks on uurida, kas andur ADXL345 sobib kasutamiseks peatoe katsestendis kiirenduse mõõtmiseks.

MATERJAL JA METOODIKA

Uuritavaks kiirenduse mõõtmise anduriks on ADXL345 [6]. Tegemist on kolme-

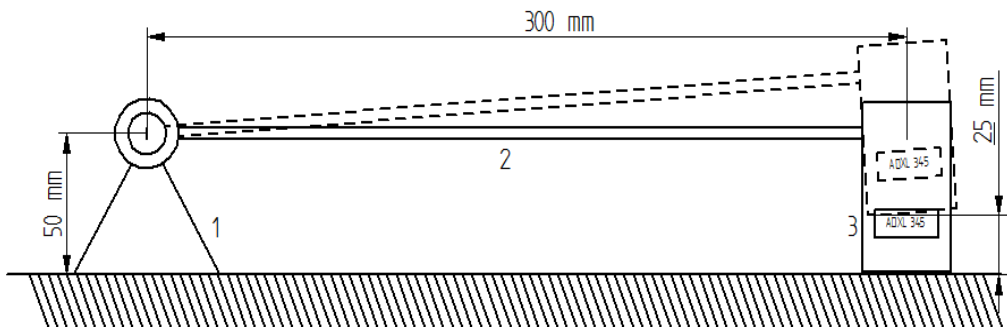
teljelise kiirendusanduriga, mis on eelkõige mõeldud kaasaskantavates seadmetes kasutamiseks. Andur võimaldab mõõta kuni ± 16 g, kasutades 13-bitist ribalaiust. ADXL345 eraldusvõime on $3,9 \times 10^{-3}$ g ning sellel on digitaalne väljund, mis ühildub I²C standardiga [7].

Käesoleva artikli autor ühendas anduri katse läbiviimiseks Arduino Uno mikrokontrolleriga, mis põhineb Atmega328P mikrokontrolleril [8,9]. I²C suhtlus anduri ja mikrokontrolleri vahel põhineb Arduino sisseehitatud Wire protokollil.

Andur võimaldab kasutada nelja erinevat mõõtepiirkonda (2 g, 4 g, 8 g ja 16 g) ja kahte erinevat ribalaiust (10 bit ja 13 bit). Tegelikuses on aga terve ribalaius kasutusel ainult 16 g mõõtepiirkonnas, kuna andur säilitab oma väiksemaks jaotiseks 4×10^{-3} g, on vastavalt 2 g mõõtepiirkonnas kasutusel ribalaius 10 bitti, 4 g piirkonnas 11 bitti ja 8 g mõõtepiirkonnas vastavalt 12 bitti.

Katses kasutatud lähtekoodi autoriks on Jens C. Brynildsen [9]. Arduino lähtekoodis olnud 500 ms viivituse muutsid autorid 5 ms peale (katseliselt tuli keskmine tsükli aeg ~ 7 ms). Originaalis on andurile antud mõõtesagedus 100 Hz, mis muudeti 200 Hz peale, et ei tekiks topelt mõõte- tulemusi. Pärast katse läbiviimist ilmnes, et sarnastel tingimustel läbiviidud katsete tulemused on üsna erinevad. Selgus, et kahe järjestikuse salvestamise vaheline aeg 5 ms oli liiga pikk. Selle probleemi vähendamiseks muudeti programmiline viivitus 1 ms peale ja kiirendusanduri enda väljundi kiirus 1600 Hz peale.

Kiirenduse mõõtmise katses kinnitati andur koos makettplaadiga joonisel 1 näidatud viisil kinnitusõla külge.



Joonis 1. Kiirendusanduri katseskeem: 1- kinnitus; 2- õlg 30 cm; 3-makettplaadile kinnitatud kiirendusandur

Figure 1 Acceleration sensor test scheme: 1- connection point; 2- 30cm connection bar 3- sensor mounted to breadboard

TULEMUSED JA ARUTELU

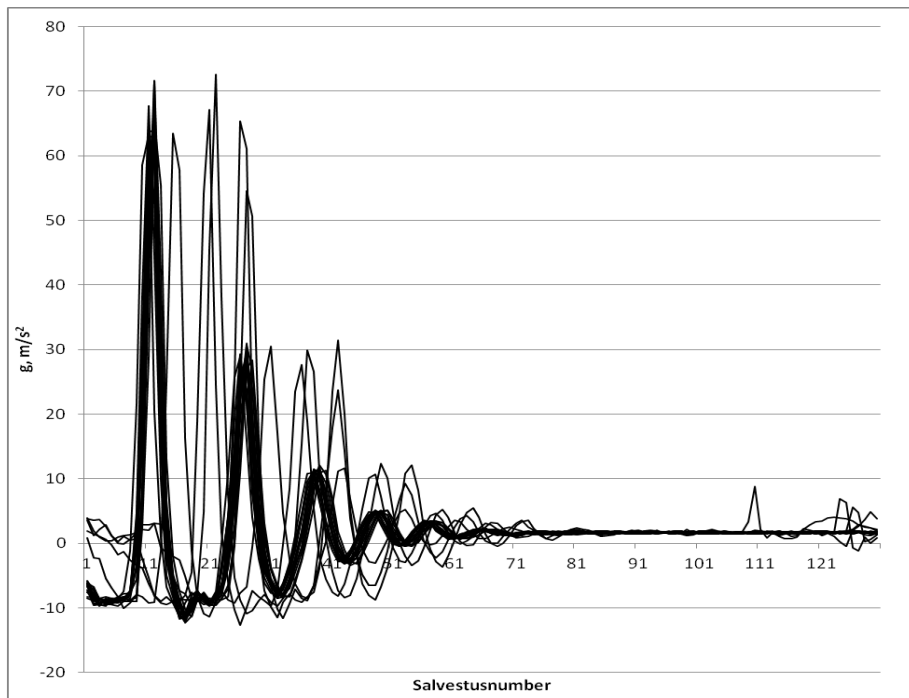
Katsetamiseks viidi andur 2,5 cm kõrgusele, kus andur vabastati. Katseseeria koosnes 20 katsest, kus iga katse puhul pandi tabelisse 1 kirja katse maksimaalne kiirendus, maksimaalne kiirendus enne pidurdust ja maksimaalne pidurdus.

Katseseeria käigus leitud keskmine arvutuslik maksimaalse pidurdus oli 6,66 g.

Maksimaalne pidurdus oli kõige väiksem (5,56 g) kolmandal katsel ja suurim (7,40 g) 16. katsel. Normaalkiirendusest ligikaudu seitse korda suurem pidurdus on seletatav katsekeha ja õla madala massiga.

Tabel 1. Katsetulemused 2,5 cm kõrguselt kukkuva anduriga
Table 1 Test results with sensor dropped from 2.5 cm

Katse nr.	Arvutuslik maksimaalne pidurdus, g	Arvutuslik maksimaalne kiirendus, g	Arvutuslik maksimaalne kiirendus enne pidurdust, g
1	6,872	1,232	0,960
2	6,248	1,176	0,952
3	5,560	1,184	0,896
4	6,880	1,256	0,992
5	6,600	1,192	0,984
6	6,840	1,288	0,944
7	6,440	1,152	0,912
8	6,904	1,176	0,992
9	6,256	1,168	0,904
10	6,520	1,240	0,944
11	6,368	1,160	0,936
12	7,288	1,104	0,992
13	6,464	1,160	0,848
14	6,776	1,192	0,896
15	6,432	1,160	0,888
16	7,400	1,104	0,968
17	6,664	1,168	0,976
18	6,864	1,208	0,944
19	6,664	1,152	0,904
20	7,296	1,112	0,980



Joonis 1. Mõõdetulemused 2,5 cm kõrguselt pehmele pinnale vabalt langeva kiirendusanduriga

Figure 1 Results of dropping acceleration sensor to soft surface from height of 2.5 cm

Keskmine arvutuslik maksimaalne kiirendus enne pidurdust (vabalangemise kiirendus) oli 0,94 g (minimaalne väärtus 0,888 g, maksimum 0,992 g).

Keskmine arvutuslik maksimaalne kiirendus oli 1,18 g, mis on 18% suurem normaalkiirendusest (9,8 m/s²). Antud tulemus võib olla tingitud anduri tagasipõrkamisel ja uuesti langema hakkamisel erinevate lõtkude poolt tekitatud pingetest ja vibratsioonidest. Maksimaalne kiirendus oli suurim (1,256 g) neljandal katsel ja kõige väiksem (1,104 g) 16ndal katsel.

Katsetulemusi kirjeldab graafiliselt joonis 2, millel on iga katse jaoks välja toodud salvestatud 130 järjestikust mõõtmistulemust. Salvestamine algas hetkest, kui andur reageeris vabalangemisele.

JÄRELDUSED

Uurimustöö täitis oma eesmärgi osaliselt, kuna antud anduriga saab mõõta kiirendust ja seda salvestada. Kuigi katse käigus muudeti viivitus ühele millisekundile, siis maksimaalse pidurduse mõõtmise hetkel muutub väärtus nullist kuni maksimaalse väärtuseni vaid nelja järjestikuse salvestamisega. Seetõttu on keerukas öelda, kas ebatäpsus tulenes mõõteahela mõõtesagedusest või katse läbiviimisel tekkinud mõõtemääramatusest.

Erinevate katsete maksimum kohtade erinevus joonisel 2 on tigitud sellest, et mõnede katsete puhul ei ole katse alanud anduri reageerimisega vabalangemisele, vaid vabastamisele eelnevale vibratsioonile.

Edasistes katsetustes on plaan kasutada lisaks I²C standardil töötavale andurile ka pinge väljundiga sensorit. Kahe anduri samaaegne ühendamise annaks võimaluse võrrelda kahe anduriga salvestatud väärtusi. Selline võrdlemine annaks täpsema ülevaate, kas andur tegelikkuses suudab salvestada katse maksimaalseid väärtusi ning kui palju need omavahel erinevad ja kas erinevused on tingitud katse läbiviimise ebatäpsusest või anduri enda ebatäpsusest.

Edasise katsetamise käigus tuleb katsekeha massi suurendada, mis võimaldab andurit katsetada ka suuremate kõrgustega, tagades stabiilsema pidurduse ilma anduri mõõtevahemikust välja minemata. Suuremate kõrguste kasutamine annab pikema vabalangemise aja ja võimaldab paremini võrrelda mõõdetud vabalangemise kiirendust normaalkiirendusega.

Lisaks massi suurendamisele on tulevikus plaanis peatoestendis proovida erineva elastsusega materjale, et näha kuidas need mõjutavad pidurdamisel tekkivat kiirendust ja tagasipõrkamise efekti.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. J. C. Eck, "Whiplash", 2015. Kättesaadav: <http://www.medicinenet.com/whiplash/article.htm> [01.04.2016].
2. W. H. M. Castro, M. Schilgen, S. Meyer, M. Weber, C. Peuker, K. Wörtler, "Do "whiplash injuries" occur in low-speed rear impacts?", 1997. Kättesaadav: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3467723/pdf/586_2005_Article_BF01834062.pdf [02.04.16]
3. M. Krafft, A. Kullgren, S. Malm, A. Ydenius, "INFLUENCE OF CRASH SEVERITY ON VARIOUS WHIPLASH INJURY SYMPTOMS: A STUDY BASED ON REAL-

- LIFE REAR-END CRASHES WITH RECORDED CRASH PULSES”, 2005.
Kättesaadav: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0363-O.pdf> [02.04.16]
4. R. P. Howard, R. M. Harding, S. W. Krenric, “The Biomechanics of "Whiplash" in Low Velocity Collisions”, 1999. Kättesaadav: http://www.brconline.com/files/consultants/126/article_6.pdf [05.04.16].
 5. G. Ray, “Mechanics of Low-Speed Impact and Implication in Injury Biomechanics”, 2000. Kättesaadav: https://books.google.ee/books?id=Zm1PavZOmaIC&pg=PA20&lpg=PA20&dq=acceleration+whiplash+study&source=bl&ots=IWw66wkkK8&sig=HSpuuMqdhY8uuDor_NuXrwZGC60&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjhusmF-IPMAhWqJ5oKHdg4DzI4ChDoAQglMAI#v=snippete_t&q=16%20g&f=false [08.04.16]
 6. Analog Devices, “ADXL345 datasheet”, 2016. Kättesaadav: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf> [09.04.16].
 7. I2C Bus, I2C-What’s that. Kättesaadav: <http://www.i2c-bus.org/i2c-bus/> [01.04.2016].
 8. Arduino Uno. Kättesaadav: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> [09.04.16].
 9. Atmel, “ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P Datasheet”. Kättesaadav: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf. [09.04.16].
 10. J. C. Brynildsen “BareBones_ADXL345.pde” Kättesaadav: https://github.com/jenschr/Arduino-libraries/blob/master/ADXL345/examples/ADXL345_no_library/BareBones_ADXL345.pde [09.04.16].